

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİESEL MOTORLARINDA MOTORİN VE LPG
YAKITLARININ BİRLİKTE KULLANIMININ DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

DENİZ ÖZDE KOCA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ALP TEKİN ERGENÇ**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİESEL MOTORLARINDA MOTORİN VE LPG YAKITLARININ
BİRLİKTE KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI

Deniz Özde KOCA tarafından hazırlanan tez çalışması 10.01.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2012-06-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tez çalışmamda engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Alp Tekin ERGENÇ 'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında bana yardımcı olan, Makine Mühendisliği Bölümü öğrencisi Aybike Gözütok ve Can Beker' e teşekkür ederim. Ayrıca öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen aileme gösterdikleri sabır için içten teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2013

Deniz Özde KOCA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	VII
KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Bulgular.....	6
BÖLÜM 2	
DİSEL MOTORUN TEMEL PRENSİPLERİ.....	7
2.1 Diesel Çevrimi.....	7
2.2 Diesel Motorlarında Karışım Teşkili.....	11
2.2.1 Diesel Motorlarında Karışım Teşkili.....	11
2.2.2 Diesel Motorlarında Yanma.....	11
BÖLÜM 3	
DİSEL MOTORDA KULLANILAN YAKITLAR.....	13
3.1 Diesel Motor Yakıtı Temel Özellikleri.....	13
3.1.1 Özgül Ağırlık.....	13
3.1.2 Alevlenme Noktası ve Yanma Noktası.....	14
3.1.3 Vizkozite.....	14
3.1.4 Setan Sayısı.....	15
3.1.5 Akma ve Bulutlanma Noktası.....	15

3.1.6 Korozyon Etkisi	16
3.1.7 Isıl Değer	16
3.1.8 Diesel İndeksi	16
BÖLÜM 4	
DİSESEL MOTORUNDA YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI.....	18
4.1 LPG' nin (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ...	18
4.2 Taşıtlarda LPG Kullanımı	21
4.2.1 Taşıtlarda Kullanılan LPG Sistemleri, Elemanları, Çalışması	22
4.2.1.1 Birinci Kuşak Sistemler	22
4.2.1.2 İkinci Kuşak Sistemler	23
4.2.1.3 Üçüncü Kuşak Sistemler	24
4.2.2 Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları ve Dezavantajları.....	26
4.3 LPG ve Çevre	27
BÖLÜM 5	
DENEY DÜZENEGİ KURULUMU	29
5.1 Motor Yükleme Düzenegi Grubu	29
5.2 Egzoz Emisyon Ölçüm Sistemi	31
5.3 Silindir İçi Basınç Ölçüm Sistemi	31
5.4 Enjektörlerin Kontrolü	34
5.4.1 LPG Enjektörünün Kalibrasyonu	34
5.4.2 Diesel Enjektörünün Kalibrasyonu	35
BÖLÜM 6	
LPG'NİN EK YAKIT OLARAK DİSESEL YAKIT İLE DİSESEL MOTORDA KULLANIMI	36
6.1 Motor Performansı ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkileri	37
6.2 Silindir İçi Basınç ve Isı Yayınım Analizi	40
BÖLÜM 7	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGE LİSTESİ

C	Sistemin kalibrasyon faktörü
E_b	Sıfır basınç değerindeki ön gerilimi
E	Çıkış voltajı
E_{IBDC}	Mutlak basıncın elde edildiği sinyal yükselticinin alt ölü noktada çıkış voltajı
H_u	Alt ısı değer
\dot{m}	İki düzlem arasındaki uzaklık
M_d	Döndürme Momenti
n	Motor devri
P	Güç
p	Silindir basıncı
PC	Pikocoulomb
p_{IBDC}	Mutlak basıncın elde edildiği sinyal yükselticinin alt ölü noktadaki basıncı
Q_w	Cidar ısı transferi
Q_h	Toplam ısı açığa çıkışı
Q_{in}	Isı girişi
T	Sıcaklık
t	Süre
V	Hacim
α	Krank açısı
γ	Spesifik ısı oranı
Ω	Ohm
θ	Anlık krank açısı

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
ARGE	Araştırma Geliştirme
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Bütan
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
cSt	Santistok
D	Diesel yakıt
D-Gaz 1	Diesel yakıt+%10 LPG katkıli yakıt
D-Gaz 2	Diesel yakıt+%20 LPG katkıli yakıt
D-Gaz 3	Diesel yakıt+%25 LPG katkıli yakıt
DC	Doğru akım
DI	Direk enjeksiyon
DIN	Alman standardı
EGR	Egzoz gazı geri dolaşımı
HC	Hidrokarbon
K _{ma}	Krank mil açısı
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
M5	Metrik beş
NO _x	Nitrojen oksitler
O ₂	Oksijen
PLC	Programlanabilir lojik kontrolör
RON	Araştırma oktan sayısı
SO ₂	Kükürt dioksit
TG	Tutuşma gecikmesi
ÜÖN	Üst ölü nokta

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Diesel çevrimi, emme, sıkıştırma ve yanma prosesleri	9
Şekil 2. 2 Diesel yanmasının p- α diagramı	10
Şekil 2. 3 Diesel yanma modeli	12
Şekil 4. 1 LPG buhar basınçları	19
Şekil 4. 2 Birinci kuşak sistemler	23
Şekil 4. 3 İkinci kuşak sistemler	24
Şekil 4. 4 Üçüncü kuşak sistemler	25
Şekil 4. 5 Tipik LPG yakıt sistemi	25
Şekil 4. 6 Diesel, Benzin ve LPG emisyonlarının karşılaştırılması	27
Şekil 5. 1 Deney Motoru Görünümü	29
Şekil 5. 2 Deney sistemi genel görünümü	30
Şekil 5. 3 Silindir içi basınç ölçümü deneysel altyapı şeması	31
Şekil 5. 4 Osiloskopun genel görünümü	32
Şekil 5. 5 Sinyal yükseltici genel görünümü	32
Şekil 5. 6 İki farklı Piezo elektrik basınç transduseri şematik şekli	33
Şekil 6. 1 20° avans için güç değerleri	37
Şekil 6. 2 20° avans için tork değerleri	38
Şekil 6. 3 Püskürtme avansı 20 Kma çalışma şartında özgül yakıt tüketim eğrisi (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)	38
Şekil 6. 4 20° avans için NOx emisyonu	39
Şekil 6. 5 20° avans için CO ₂ emisyonu	39
Şekil 6. 6 20° avans için CO emisyonu	40
Şekil 6. 7 20° avans için HC emisyonu	40
Şekil 6. 8 Püskürtme avansı 20 Kma çalışma şartında silindir içi basınç değişimi (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)	41
Şekil 6. 9 Püskürtme avansı 20 Kma çalışma şartında ısı açığa çıkışı (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)	42

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	Avrupa ülkelerindeki yaz ve kış mevsimlerinde LPG içerisindeki propan ve bütan oranları20
Çizelge 4. 2	LPG' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri20
Çizelge 4. 3	Taşıtlarda LPG kullanımı Yaygın olan Ülkeler22
Çizelge 5. 1	Deney motoru teknik özellikleri30
Çizelge 5. 2	Basınç transdüseri ve sinyal yükseltici özellikleri33

DİESEL MOTORLARINDA MOTORİN VE LPG YAKITLARININ BİRLİKTE KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Deniz Özde KOCA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

LPG, emisyonları açısından çevresel avantajlar sunması ve birim fiyatının daha ucuz olması sebebi ile gün geçtikçe ülkemizde daha da çekici hale gelmektedir. Bu konuda gerek yakıt gerekse yakma sistemi satışı yapan tüm firmalar pazardaki paylarını artırmak için çeşitli arge çalışmaları yapmaktadırlar. Günümüzde Benzinli araçlarda LPG kullanımının daha çok eski araçlara yönelmesi ve Diesel motor yakıtı motorinde fiyatındaki aşırı artış, LPG sistemi üreten firmaları Diesel motorunda LPG kullanımı konusuna yöneltmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, LPG yakıtının performansta bir miktar düşüğe neden olduğu görülmektedir. Bu noktadan hareketle, LPG yakıtı ile Diesel yakıtının uygun oranda karıştırılması ile bu düşüşün minimuma indirilebileceği düşünülmektedir. Günümüzde kullanılan elektronik kontrollü bir Diesel püskürtme sisteminde; püskürtme avansı, püskürtme süresi içerisinde zamana bağlı yakıt miktarı ve farklı enjektörler kullanılarak değişken dolgu yapısı oluşturularak performans ve emisyon yönünden değişim gözlenecektir.

Anahtar Kelimeler: LPG, Diesel motor, Çift yakıtlı motor

ABSTRACT

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DIESEL AND LPG FUELS TOGETHER IN DIESEL ENGINE

Deniz Özde KOCA

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist.Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

By the day, LPG becomes more attractive at our country because of provides environmental benefits in terms of emissions and unit price of it is less expensive. At that time; all the companies, engaged in the sale of fuel and combustion system to increase their share of the market make the various R & D studies. Nowadays, the use of LPG in gasoline vehicles turn to old vehicles and excessively increase the price of the diesel motor fuel diesel fuel, producing the LPG system companies have forced the issue of the use of LPG at diesel engine. Studies on this subject is examined, is seen to cause a slight decrease in performance of LPG fuel. From this point on, this decline is considered to download minimum about Diesel fuel with LPG fuel by mixing the appropriate ratio. The injection advance in used today an electronically-controlled diesel injection system ,using the time-dependent fuel quantity and different injectors in injection duration, creating a variable fill structure in terms of performance and emissions will be determined.

Key words: LPG, Diesel Engine, Dual Fuel Engine

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Ekonomi ve kalkınmanın en önemli etkenlerinden biri olan enerji ihtiyacı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artarak devam etmektedir. Ülkemizde ticari enerji ihtiyacının büyük kısmı petrolden karşılanmaktadır. Petrolün önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünya petrol rezervleri aşırı kullanım sonucu hızla tükenmektedir. Buna paralel olarak hava kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri olan egzoz emisyonlarının artması, araştırmacıları alternatif yakıt arayışına itmiştir [1].

Dünya enerji kaynağının % 50' den fazlasını petrolün oluşturması ve tahmini olarak 2030-2050 yılları arasında tükenecek olması, çok fazla kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirecektir [2]. Ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmını petrolden karşılamakta, petrolün önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengelerin korunması için mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gerekmektedir. Bu olumsuzlukların en aza indirilmesine yönelik olarak araştırmacılar alternatif yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak; alkol (metanol, etanol), hidrojen, bitkisel yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı belirtilmektedir [3].

Önceleri sabit tesis motorlarında kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG-Liquified Petroleum Gas) ve doğal gaz (CNG-Compressed Natural Gas) motorlu taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kaliteli petrol ürünü ve sıvı yakıt teminindeki güçlükler otomotiv imalat ve kullanıcılarını rezerv tespitleri giderek artan gaz yakıtları kullanmaya zorlamaktadır.

Özellikle diesel yakıtının çok yaygın kullanılması, ham petrolden normal rafineri işlemleri ile elde edilen % 20 oranındaki bu yakıtın temininde güçlükler oluşturmakta ve kullanıldığı alanlarda gaz yakıt kullanımı daha cazip hale getirmektedir.

Gaz yakıtlar karışımının oluşturulması, dağıtımı, ateşlenmesi, yanmanın kontrolünde en az zorluk göstermeleri ve emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle ideal alternatif yakıt olarak bilinmektedir. Aynı zamanda yoğunluklarının düşük olması nedeniyle sıkıştırılarak sıvı halde depolanabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak tercih edilmektedir. Diğer yakıtların maliyetlerinin yüksek olması, depolama güçlükleri ve emisyon değerlerinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmemektedir.

Ülkemizde, 1986 yılında doğalgazın ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaya başlamasından sonra motorlu taşıtlarda da doğalgaz kullanımı gündeme gelmiştir. Türkiye de özellikle, 1996 yılında hızla artan ve çoğunlukla ticari araç sahiplerinin yöneldiği ve alternatif yakıt olarak seçilen LPG kullanımı gündeme gelmiştir. Bu yakıtın seçilmesinin en önemli nedeni günümüzdeki fiyatların benzine oranla oldukça düşük olmasıdır. LPG yakıtının egzoz emisyonlarının düşük olmasının seçimde bir kriter olarak etkin rol oynadığı görüşü çok kuvvetli değildir [4],[5].

LPG dünya çapında ve uzun süreli rol oynayabilecek önemli bir alternatif yakıt olarak değerlendirilmektedir. Halen, dünyanın bir çok ülkesinde dört milyondan fazla taşıt yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı kullanmaktadır. Bunun nedeni LPG' nin birim fiyatının diğer yakıtlara göre düşük olmasıdır. Dünya genelinde LPG tüketimi 2009 yılında 240 milyon tona ulaşmıştır. Üretim açısından 1999' dan 2009' a kadar yüzde 25,6' lık bir artış yakalanmıştır [6].

Çift yakıtlı diesel motorları gaz-diesel yakıtı ya da sadece diesel yakıtı ile çalışan motor olarak tanımlanmaktadır. Çift yakıtlı motor da gaz, hava ile karıştırılarak silindir içerisine alındıktan sonra karışım sıkıştırılır ve sıkıştırma zamanının sonuna doğrudan dizel yakıtı enjektörden püskürtülerek iş zamanı gerçekleştirilir [7].

Çift yakıtlı yanmanın karakteristikleri tek yakıtlı yanmadan farklı olmaktadır. Diesel yakıt buharı silindir içerisine püskürtüldüğü için yüksek sıcaklıkta sıkıştırılan hava ile karışıktan sonra kendi kendine tutuşan ve buharlaşan damlacıklar içinde çabucak çözülür.

Çift yakıtlı çalışmada ise yanma tersine alevin yayılması ile kontrol edilme eğilimindedir.

Pilot diesel yakıtıyla sağlanan enerji bir buji kıvılcımıyla sağlanan enerjiden daha büyüktür. Bu durum motorun yeterli derecede fakir hava-yakıt oranında çalıştırılması için bir çift yakıtlı motora uygulanabilmektedir [8].

Pek çok sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar çift yakıt prensibine göre çalışmaktadır. Bu motorlar için esas yakıt normalde gazların atmosferik sıcaklıkta ve basınçta normal hava ile indüklenir. Piston Ü.Ö.N. civarında (sıkıştırma zamanında) normal diesel motorunda olduğu gibi yakıt hava karışımı üzerine dizel yakıtı püskürtülür.

Püskürtülen her pilot yakıt miktarı, motorun gücüne ve tam yüküne bakılmaksızın, genellikle diesel çalışmasında püskürtülen toplam yakıtın %10' dan daha azdır.

Tek yakıtlı çalışmada havanın kısılmaması ve motor gücü, yakılan hava ile esas yakıt miktarının silindir içerisine indüklenmesi ile kontrol edilmektedir. Normal çift yakıtlı motor tam diesel motoru olarak ya da çift yakıtlı olarak çalışabilir [8].

Çift yakıtlı bir motorda gaz olan esas yakıt genellikle hava ile birlikte içeri alınmaktadır. Pilot yakıt olarak adlandırılan diesel yakıtının küçük bir miktarı esas yakıt hava ile karışıp sıkıştırıldıktan sonra normal şekilde püskürtülür. Sıkıştırma oranı dizel motorlarında kullanılanlara benzerdir. Pilot diesel yakıtı, ilk olarak kendiliğinden tutuşması ve içeri alınan esas yakıtın yandıktan sonra şiddetli bir ateşleme kaynağı yapmaktadır. Esas gaz yakıt, pilot yakıtın tutuşma gecikmesini etkilemektedir. Emilen havanın sıcaklığı, içeri alınan karışımın hava-yakıt oranı, pilot yakıt miktarı ve kullanılan gaz yakıt düşük yüklerde çift yakıtlı motorların performansı ve kontrollü yanması için önemlidir [9].

Poonia ve diğerleri, LPG-diesel çift yakıtlı motorda çeşitli sıcaklık ve pilot miktarlarıyla deneyler yapmıştır. Tutuşma gecikmesi, basınç artış oranı, yanma süresi ve ısı yayılım modelleri gibi yanma parametreleri de daha düşük ve yüksek yük koşullarında gözlenmiştir. Gaz halindeki birincil yakıtın konsantrasyonundaki artışla, tutuşma gecikmesinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Gaz halindeki yakıtın daha yüksek yük şartlarındaki yanması, pilot yakıtın ateşleme sonrası alev yayılmasıyla gerçekleşir. Düşük yük koşullarında olmasına rağmen pilot yakıt ve sürüklenen gaz ısı yayılımının ana kaynağıdır [10].

Çift yakıtlı motorun yalnızca diesel yakıt ile çalıştırıldığı durum ve pilot yakıt olarak diesel yakıtın ikincil yakıt olarak ise LPG' nin kullanıldığı iki farklı durumun yanma parametreleri karşılaştırılmıştır.

Yanmanın ilk fazındaki ısı yayılım oranı, gaz halindeki yakıtın artışıyla, tüm yük koşullarında azalır. Düşük yük koşullarında, gaz halindeki yakıtın bir kısmı ile birlikte püskürtülen diesel yakıtın büyük bir kısmı yanmanın ilk aşamasında yanabilir. Daha iyi buharlaşma ve pilot yakıt püskürtme bölgesinin uzağındaki gaz-hava karışımıyla uygun pilot yakıt karışımının sağlanmasıyla LPG' nin daha yüksek yük ve konsantrasyondaki ısı yayılım oranı, yalnız diesel yakıtın kullanıldığı durumdan daha düşüktür. Pilot yakıt miktarı azaldıkça, yanmanın ilk aşamasında ısı yayılım oranı da azalır. Yanmanın ilk aşamasında, ağır yanma nedeniyle % 10 ve % 40 yük koşullarındaki LPG katkısının artırılmasıyla ısı yayılımı $34.54 \text{ J} / ^\circ\text{CA}$ ya düşürülür [11].

Yanmanın ilk aşamasında motorda yalnız diesel yakıtın kullanıldığı durumda ÜÖN' daki net ısı yayılım oranı $94,26 \text{ J} / ^\circ\text{CA}$ dır. Motorda pilot yakıt olarak diesel yakıtın, ikincil yakıt olarak LPG' nin kullanıldığı durumda sıkıştırma işlemi sırasındaki ısı yayılım oranı LPG gazını kısmi oksidasyonundan kaynaklanır. Yanmanın ilk fazı sırasındaki $356 ^\circ\text{CA}$ daki ısı yayılım oranı $77.57 \text{ J} / ^\circ\text{CA}$ dır. Bu, püskürtme bölgesine sürüklenmiş LPG gazının bir kısmı ve ateşleme gecikme sürecinde biriken pilot diesel yakıtın bir kısmı tarafından serbest bırakılan enerjiden kaynaklanır. ÜÖN' daki difüzyon kontrollü yanmanın ikinci aşamasında net ısı yayılım oranı $39 \text{ J} / ^\circ\text{CA}$ dır. İkinci pik ısı yayılım eğrisinde belli olan yanmanın ikinci aşamasında uyarılan yanmış gaz yakıt ile birlikte pilot yakıt miktarının bir kısmı yanmazken, yanmanın ilk aşamasında pilot dizel miktarının tümünün yanmadığı gözlemlenmiştir. Yanmanın ikinci fazının sonu, ısı yayılım eğrisinde ikinci dip olarak görülür. Üçüncü pik, $364 ^\circ\text{CA}$ da $35 \text{ J} / ^\circ\text{CA}$ olarak gözlenmiştir, bu yanma odasında kalan yanmamış gaz halindeki yakıt-hava karışımının alev yayılımı sonucu serbest kalan enerjisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Turboşarjın varlığı gaz halindeki yanmamış yakıt-hava karışımını daha yüksek yoğunluklu yapar. Aynı zamanda bu da üçüncü bir pikin oluşmasına sebep olmuş olabilir. Genişleme işlemi sırasında yanmanın bu üçüncü fazındaki olumsuz döngü, silindir duvarına ve yanma odasına doğru büyük ısı transferine sebep olur [12]. Bu eğri, Poonia ve arkadaşlarının bulgularıyla oldukça benzer sonuçlar vermektedir [10].

Karışımli yakıtların pik ısı yayılım oranlarının, diesele göre biraz daha yüksek olduğu ve 1500 d/dk motor hızında LPG kütle oranının artışı ile hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. LPG kütle oranı % 20' den daha yüksek olduğunda karışımli yakıtın pik ısı yayılım oranı azalır.

Ancak 2000 d/dk motor hızında karışımli yakitların LPG kütle oranı % 20' den daha düşükken, 1500 d/dk' daki durumla aynıdır. LPG kütle oranındaki artış, karışımli yakıtın setan sayısını azaltacak, tutuşma gecikmesi süresini arttıracaktır, tutuşma gecikmesi süresi içinde hazırlanan yanıcı yakıt miktarını ve ön karışımli yanma fazındaki bağılı ısı yayılımı ve pik ısı yayılım oranını arttıracaktır. Karışımli yakitların yoğunluğundaki azalmadan dolayı, ortalama fren etkili basıncının aynı değerini elde etmek için karışımli yakitların püskürtme süresinde bir artış gerekir [13]. Ancak, LPG' nin kaynama noktasının düşük olması nedeniyle; düşük sıcaklıkta buharlaşp, parlayabildiğinden karışımli yakitların atomizasyonuna yardımcı olur. Bu da yanmayı geliştirerek, yanma fazının yanma süresini kısaltır [14]. Isı yayılım eğrileri, yüksek motor hızında (2000 d/dk) ve yüksek LPG kütle oranında (% 20 üstünde) düz ve uzun ön karışımli yanma modeli oluştururken düşük motor hızında (1500 d /dk) ve / veya düşük LPG kütle oranında (% 20 altında) keskin ve kısa ön karışımli yanma modeli ortaya çıkarır. LPG kütle oranı yükselirken ısı yayılım oranı analiz edildiğinde, yanma hızının yavaş olması sonucu oluşan düşük motor yükündeki düşük silindir gazı sıcaklığından dolayı karışımli yakitların kötü kullanımı ortaya çıkmıştır. Düşük motor hızındaki (1500 d/dk), karışımli yakitların pik ısı yayılım oranı diesel yakıtinkinden biraz yüksektir, neredeyse aynıdır. LPG kütle oranının artışı ile yanma süresi biraz daha kısalır. LPG kütle oranı % 20' den daha yüksek olduğunda, pik ısı yayılım oranı belirgin bir şekilde azalır ve yanma süresi uzar [13].

Esas yakıtın metan veya propan ve pilot yakıtın diesel olduğu çift yakıtlı tek silindirli bölünmüş yanma odalı bir araştırma diesel motorunda (Ricardo E6), tam yükte artan pilot diesel yakıt miktarının vurutuya sebep olurken, düşük yükte düşük verim ve yüksek emisyonun pilot diesel yakıt miktarının arttırılması ile düzeltilebileceği tespit edilmiştir [15].

Çift yakıtlı bir diesel motorda püskürtme zamanının motor performansına etkisi çalışmalarında, kısmi yükte düşük verim ve kötü emisyonun püskürtme zamanının öne alınması ile düzeltilebileceği ifade edilmiştir [16].

Çarman ve diğerleri; diesel motorlarında, diesel yakıtı ve ağırlıklı olarak %30 LPG ve %70 diesel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisini incelemiştir.

Bu amaçla tek silindirli direkt püskürtmeli bir diesel motoru LPG ve diesel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmişlerdir. Çift yakıtla yapılan çalışmada motor torku ve gücünün tek yakıtlı çalışmaya göre %5.8 oranında arttığı gözlemlenmiştir [7], [17].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı çift yakıt (LPG+diesel) kullanımının deneysel olarak araştırılmasıdır. Yapılacak deneyler sonucunda, Diesel motorunda en uygun LPG-motorin karışım oranı tespit edilerek optimum noktanın belirlenmesiyle, araştırmalar sırasında yol gösterici olabilecek sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Bulgular

Diesel motorunda ek yakıt olarak LPG uygulaması için yaptığımız çalışmalar sonucu elde ettiğimiz değerler, motor performansı ve emisyonu açısından bizi pozitif sonuçlara ulaştırmıştır. LPG katkısı arttıkça motor performansı yükselmiş, emisyon açısından negatif sonuçlar oluşmamıştır.

Ülkemizde LPG fiyatlarının daha düşük olması sebebiyle ekonomik açıdan fayda sağlayacağı ortaya çıkmıştır. Diesel yakıtın saf halde kullanımında 1 litre yakıt fiyatı şu an yaklaşık 4,2 TL iken, %75 diesel + %25 LPG katkılı yakıt kullanımında bu rakam yaklaşık 3,86 TL 'ye düşmektedir.

DİSEL MOTORUN TEMEL PRENSİPLERİ

Diesel motor, yakıt ve havayı motorun içerisinde karıştıran bir sıkıştırma-ateşleme motorudur. Hava yanma odasında yüksek basınçlı bir yanmaya ihtiyaç duyar. Bu da diesel yakıtın silindir içine püskürtülerek tutuşturulmasıyla yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur. Diesel motor bu ısıyı dizel yakıttaki kimyasal enerjinin mekanik kuvvete dönüşmesinde kullanır.

Diesel motorun turbo şarjlı ya da süper şarjlı olması yalnızca motor verimliliğini artırmakla kalmaz, ayrıca zararlı emisyonların ve yanma gürültülerinin azalmasını da sağlar.

Diesel motorlar 4 ya da 2 stroklu dizayn edilebilirler. Taşıtlardaki genellikle 4 stroklu tipleridir.

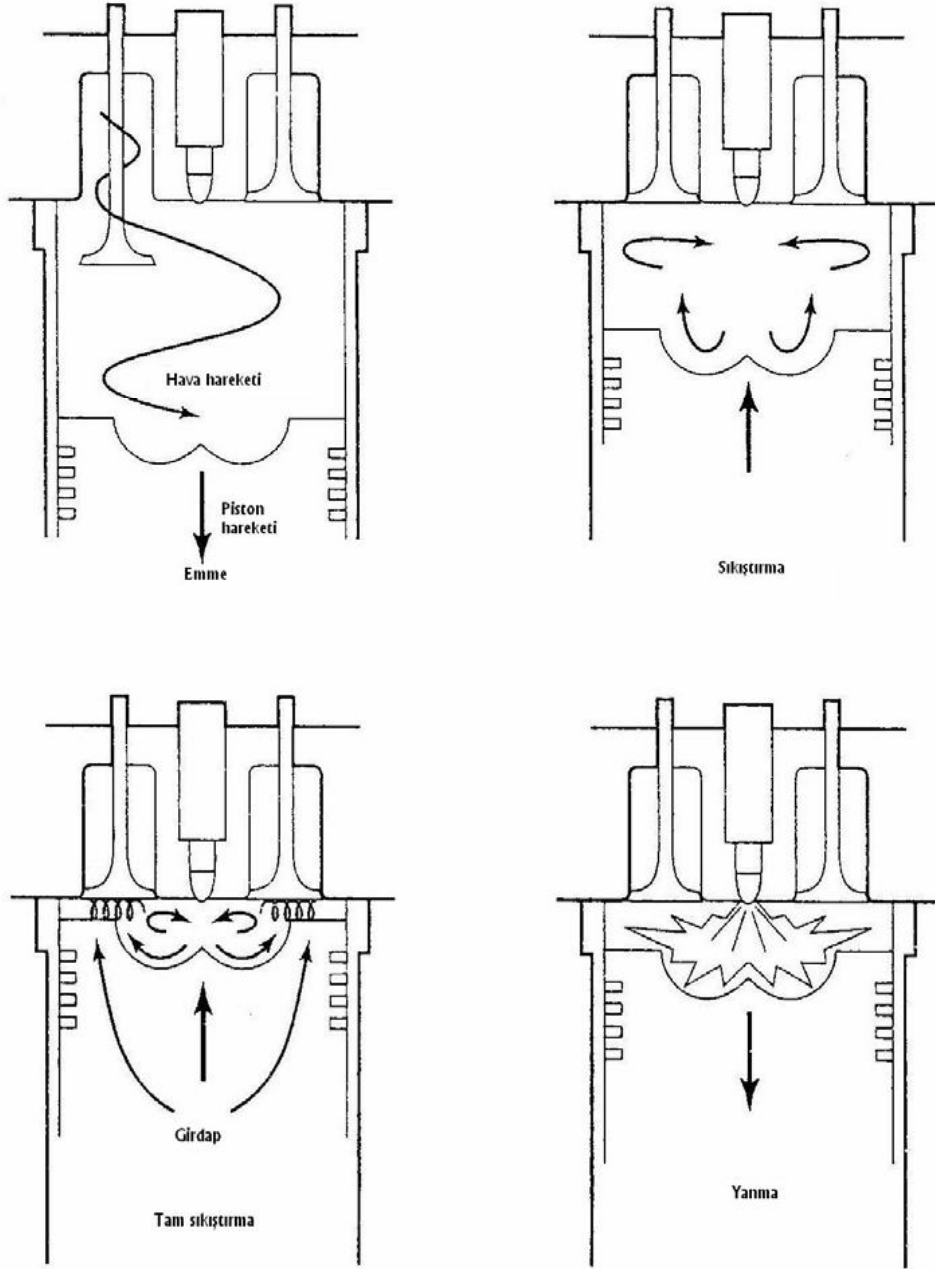
2.1 Diesel Çevrimi

Literatürde sıkıştırma, ateşlemeli ve diesel motor olarak bilinen motorların yanma prosesi kısaca şu şekilde açıklanmaktadır. Diesel motorunda yakıt, sıkıştırma strokunun sonlarına doğru bir enjektör vasıtasıyla püskürtülerek silindir içersine gönderilmektedir. Sıvı yakıt yüksek hızda küçük çaplı orifislerden tek yada çok sayıda jet olarak püskürtülür. Yüksek hız ve küçük çap yakıtın daha iyi atomize ve penetre olmasını sağlamaktadır. Yakıt yüksek sıcaklık ve basınçta silindir içersinde buharlaşmakta ve hava ile karışmaktadır. Silindir içi basınç ve sıcaklık yakıtın kendi kendine tutuşma noktasına ulaştığı bölgede gecikme ile tutuşma gerçekleşir ve yanmanın silindir içerisinde yayılması ile silindir içi basınç ve sıcaklık yükselir [18].

Yakıtın ilk tutuşan kısmı, diğer yanmamış karışımın tutuşma gecikme süresinin kılmasını sağlar ve püskürtme gerekli yakıtın silindir içine püskürtülmesine kadar sürer.

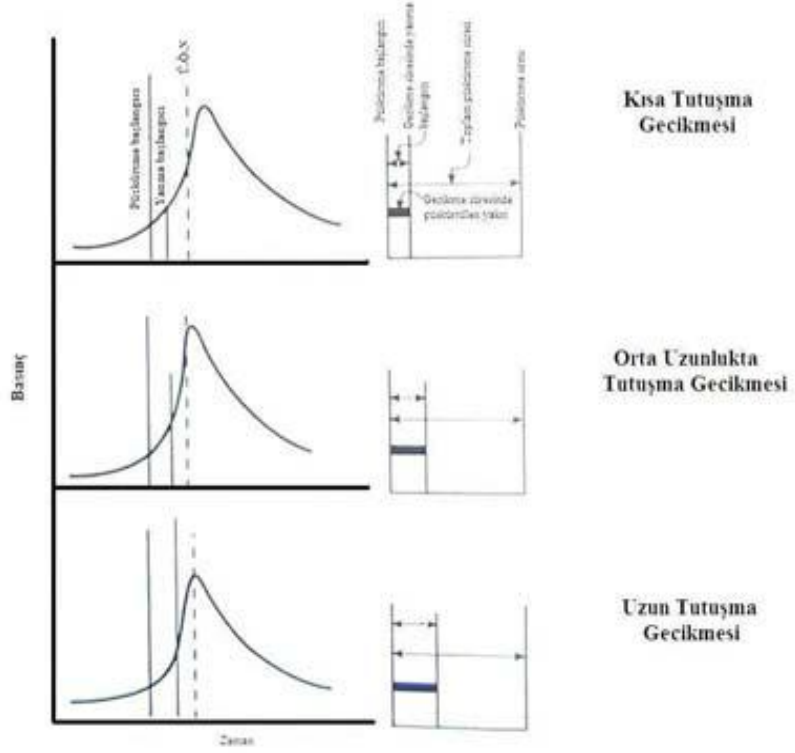
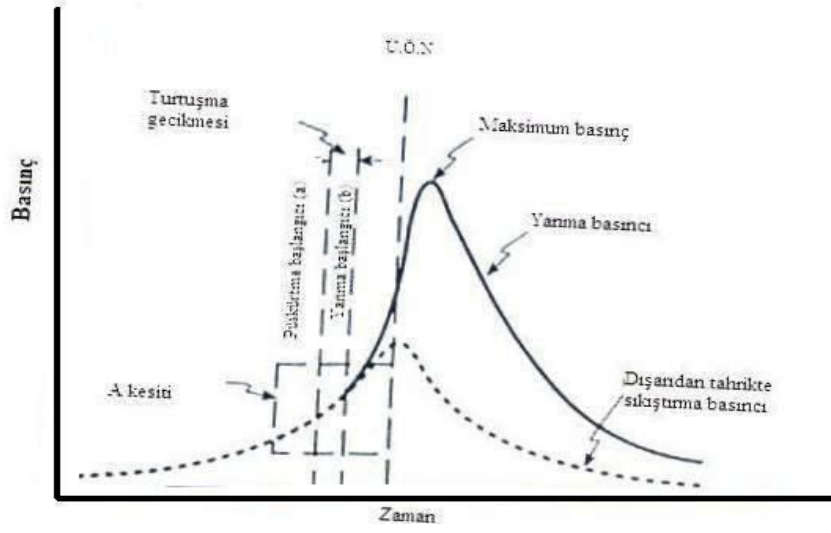
Yanma genişleme sürecinde devam eder (Heywood [19]). Dört stroklu bir Diesel motorunun çevrimi Şekil 2.1' de verilmektedir.

- Emme strokunda silindir içersine direkt olarak hava alınır.
- Sıkıştırma strokunda yakıt sıcaklığı, kendi kendine tutuşma sıcaklığına kadar yükseltilir ve sıkıştırma strokunun sonuna doğru diesel yakıtı püskürtülerek silindir içersine sokulur.
- Buharlaşma, karışım ve ardından tutuşma ve yanma sıkıştırma strokunun sonuna doğru başlar ve genişleme strokunda devam eder.
- Egzoz strokunda, egzoz supabının açılması ile yanmış gazların dışarı atılması sağlanır.



Şekil 2.1 Diesel çevrimi, emme, sıkıştırma ve yanma prosesleri (Ferguson [20])

Diesel motorunun hava girişi kelebeksizdir. Motordan alınan güç silindire püskürtülen yakıt miktarı ile ayarlanır. Yakıt-hava karışımının tutuşabilmesi için, Diesel motorlarında sıkıştırma oranı yüksek tutulur, yüksek sıkıştırma oranı teorik verimin Otto motoruna göre daha yüksek olmasını sağlar. Diesel motorun performansı duman oluşumu ile sınırlanmaktadır. Karışımın aşırı zenginleşmesi Diesel motorunda duman oluşumu artırmaktadır (Ferguson [20]).



Şekil 2.2 Diesel yanmasının p- α diagramı (Keating [21])

2.2 Diesel Motorlarında Karışım Teşkili ve Yanma

2.2.1 Diesel Motorlarında Karışım Teşkili

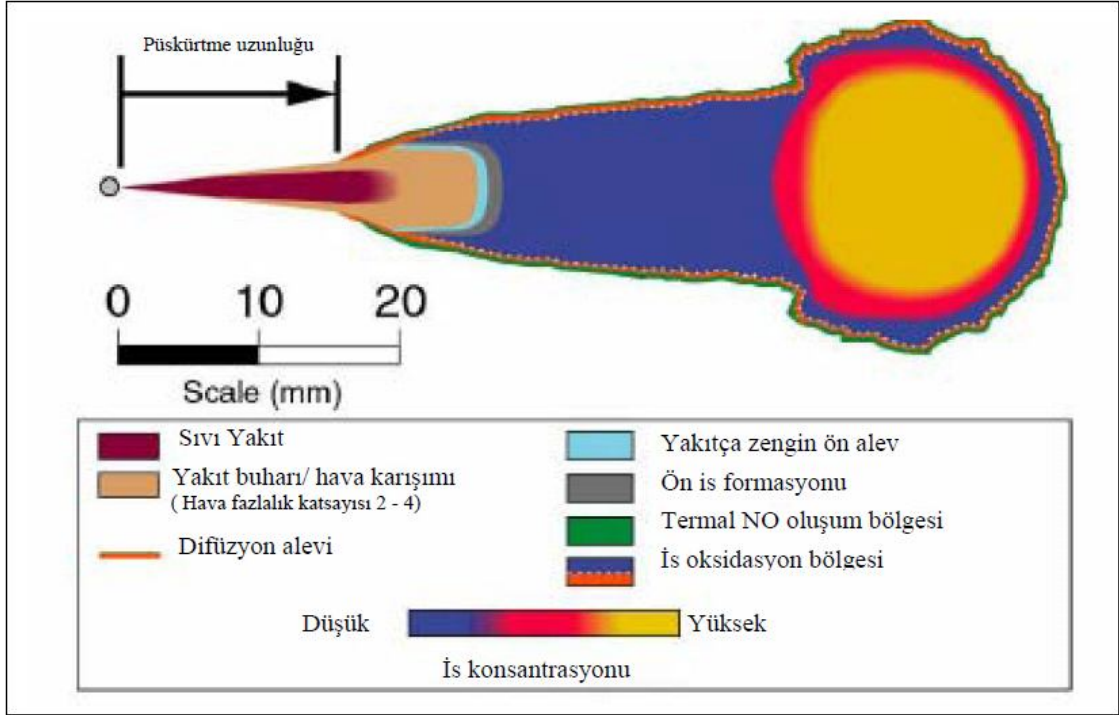
Diesel motorlarında iyi yanmanın elde edilebilmesi karışımın teşkili ile doğrudan ilgilidir. Genel anlamda karışımın teşkili; yakıtın zerrelere ayrılarak, silindirdeki hava ile iyi bir yanma sağlayacak şekilde karışması ile sağlanmaktadır (Yavaşlıol [22]). Diesel motorlarında yakıt hava karışımının benzin motorlarında olduğu gibi karışım halinde silindir içine alınmaması nedeniyle, yakıtın silindir içine alınması takiben karışımın 15-30 ° Kma gibi kısa bir sürede hazırlanması gerekmektedir. Bu süre içinde yakıtla havanın homojen olarak karışmasının zorluğu diesel motorlarındaki devir sayısı artışını sınırlayan en önemli nedendir.

Karışım teşkilinin iyileştirilmesinin en temel yolu pülverizasyonu artırmaktır. Artan pülverizasyon ile daha ince zerrelere ayrılan yakıtın, sıcak hava ile temas yüzeyi artmaktadır. Bu durum, yakıtın kolaylıkla buharlaşması ile havanın içerisindeki difüzyonunu artırarak karışım süresinin kısılmasını sağlar. Yanma için gerekli sürenin kısılması ve bunun sonucu olarak yakıtın kolaylıkla buharlaşması ve havanın içerisindeki difüzyonun artması karışım süresini kısaltır ve karışımın homojenliğini artırır (Yavaşlıol [22]). Homojen karışımın oluşma hızının yakıtın silindir içine alınma hızına ve yakıtın pülverizasyonuna bağlı olduğu bu tip motorlarda, yakıtın silindire püskürtülerek sokulması mecburidir. Silindire sokulan yakıtın tamamının yüksek bir yanma verimi ile yanmasını sağlamak, yakıtın silindir içinde tamamen dağıtılması, diğer bir deyişle yanma odası içindeki hava ile uygun bir şekilde karışması ile mümkündür. Makro karışım teşkili olarak tanımlanan bu durum, yakıtın direkt silindire püskürtüldüğü, direkt püskürtmeli yanma odalarında püskürtülen demet sayısının artırılması ile bir oranda sağlanabilir. Gerçek anlamda iyi bir makro ve mikro karışımın teşkilinin sağlanabilmesinde silindir içinde hava hareketlerinin yaratılması zorunludur (Yavaşlıol [22]).

2.2.2 Diesel Motorlarında Yanma

Enjektörden püskürtülen yakıt, hava ile sürtünmesi sonucu parçalanır, yakıtta parçalanma oranı demet çevresinde sürtünmelerin fazlalığı nedeni ile daha fazla olur ve çevrede daha küçük taneli damlacıklar oluşur.

Küçük taneli damlacıkların kütlelerine göre hava ile temas yüzeyleri daha fazla olduğundan ilk buharlaşan ve yanmaya hazır olan yakıt zerreleri demet çevresinde oluşur. Damlacıkların hazırlanma zamanını tamamlayarak yanmaya başlaması, demet çevresinde birkaç noktada birden meydana gelebilir.



Şekil 2.3 Diesel yanma modeli (Reitz [23])

İlk yanma başladıktan sonra mevcut yakıt demetinin içindeki ve süren püskürtme nedeni ile silindire giren yakıtın iyi bir şekilde yanması için diesel motorlarında değişik şekillerde hava hareketleri yaratılır (Yavaşlıo1 [22]).

DİESEL MOTORDA KULLANILAN YAKITLAR

İçten yanmalı motorlarda mekanik enerjiyi sağlayacak olan ısı enerjisi, silindir içerisine belirli oranlarda alınmış olan yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindirlerde oluşan yanma olayını ve neticede elde edilecek olan enerjiyi doğrudan etkiler [18] .

İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve yaygın olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere hava gazı, metan, biyogaz ve özellikle hava kirlenmesinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında sıvı petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan motorin 180 ila 370 °C arası kaynama noktasına sahip değişik yapıdaki hidrokarbonların karışımından oluşmaktadır. Ham petrolün kademeli damıtımı ile elde edilir (Bauer [24]).

3.1 Diesel Motor Yakıtı Temel Özellikleri

3.1.1 Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık veya yoğunluk; birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanır. Kütleli olarak uygun hava yakıt oranının sağlanabilmesi için pompa-enjektör grubu tarafından sevk edilen yakıtın yoğunluk değeri çok önemlidir. Yoğunluk artışı ile eş hacimli pompada daha düşük kütleli yakıtın sevk gerçekleşmektedir. Bu nedenle genel olarak Diesel yakıtlarının özgül ağırlıkları 0,815–0,934 gr/dm³ arası sınırlandırılmaktadır.

Diesel yakıtın yoğunluk değişimi motorda yanmayı etkilemektedir. Örneğin yoğunluktaki değişim ısı değeri etkilemektedir.

Artan yoğunluk ile aynı şartta daha yoğun bir yakıtın silindir içersine girmesi ile yanma karakteri bozulmakta ve is emisyonları artmaktadır (Guibet [25]).

3.1.2 Alevlenme Noktası ve Yanma Noktası

Bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklık yakıtın parlama noktası olarak tarif edilir. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeyen devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığında biraz yüksektir. Diesel yakıtının alevlenme sıcaklığı ASTM-93 'e göre 55 °C' nin altında olmamalıdır.

3.1.3 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite kinematik ve dinamik viskozite olmak üzere ikiye ayrılır. Tanım olarak dinamik viskozite; birbirlerinden Δz uzaklıktaki iki düzlem arasında Δz^2 alanındaki sıvı tabakasının $\Delta z / s^2$ hızla kayması için gerekli olan Newton kuvvetine denir. Kinematik viskozite; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Kinematik viskozite birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt= 1 mm/saniyedir ve ASTM D-88' e göre viskozite 40 °C de ölçülmelidir. Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum, Standart Methods IP 70/57), Saybold Universal ve Saybold –Furol viskozimetreleri ile belirlenmektedir (Yamık [26]).

Diesel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerreler ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanmanın sağlanması gerçekleşmektedir. Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını arttırmaktadır [18].

3.1.4 Setan Sayısı

Diesel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artırmış olan havanın içerisine püskürtülen diesel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür.

Diesel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için diesel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)' nin zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar (Diesel vuruntusu) ortaya çıkar (Yamık [26]).

3.1.5 Akma ve Bulutlanma Noktası

Diesel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekir. Akma noktasının yüksek olması ve yakıtın soğuk havalarda yakıt depodan püskürtme sistemine ve enjektöre iletilmemesi motorun çalışmasını engeller. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan Diesel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır.

Biodiesel üretiminde özellikle ucuz maliyeti sebebi ile kullanılan hayvansal yağlar ve kızartma yağları, yüksek miktarlarda doymuş yağ asitleri içerdiği için, çok yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Bu özellik, iklim şartlarından etkilenerek donmalarına; depolama ve kullanma esnasında problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, biodiesel kalitesine yönelik yapılan analizlerde; Akma ve Bulutlanma noktaları tayinleri ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası değerleri Uluslararası Standartlarda yer almaktadır.

Akma noktası; numunenin, belirlenmiş standart şartlar altında soğutuluyorken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklığı ifade eder. Standart analiz metodunda ön ısıtmadan sonra numune belirli bir hızda soğutulur ve akış karakteristikleri için 3°C aralıklarla kontrol edilir. Numune hareketinin gözlemlenebildiği en düşük sıcaklık akma noktası olarak kaydedilir.

Bulutlanma Noktası; deney numunesi, belirlenmiş standart şartlar altında soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan bir sisin gözleendiği ilk sıcaklıktır.

Analiz metodunda numune belirli bir hızda soğutulur ve belirli aralıklarla gözlenir. Deney tüpünde ilk sisin ilk gözleendiği sıcaklık bulutlanma noktası olarak kaydedilir.

3.1.6 Korozyon Etkisi

Diesel yakıtında bulunan kükürt oranı hem korozif hem de partikül oluşumunu artırıcı yönde etki ederek zararlı bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle düşük çalışma sıcaklıklarında motor parçalarında şiddetli korozyona sebep olmaktadır. Kükürt miktarı ASTM-129' da ve IP 3362' ye göre motor hızına bağlı olarak yüksek hızlı motorlarda %1' in altında olmalıdır (Yamık [26]).

3.1.7 Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesiyle elde edilen değere ısıl değeri denir. Yakıtın ısıl değeri genellikle birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğundan, ısıl değer, alt ısıl değer olarak verilmelidir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısıl değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleyle aşağıdaki ampirik ifade ile bağlamak mümkündür (Yamık [26]).

$$H_u = 9822,2 + 36,6 \text{ API (Kcal/kg)} \quad (3.1)$$

Benzin veya Diesel yakıtı için,

$$H_u = 42000 - 44000 \text{ kJ/kg} \quad (3.2)$$

$$H_u = 10200 - 10500 \text{ kcal/kg} \quad (3.3)$$

olarak verilebilir.

3.1.8 Diesel İndeksi

Diesel indeksi, diesel yakıtların kendi kendine tutuşma eğilimi (kalitesi) süresini ifade etmektedir. Denklem (3.4)' de Diesel indeksi ifadesi verilmektedir.

$$DI = \frac{\text{Anilin Noktası (}^\circ\text{F)}}{100} * \frac{\text{Özgül Kütle}}{\text{API}} \quad (3.4)$$

Anilin noktası yakıt ile anilinin hacimsel olarak eşit oranda karıştığı ve homojen olduğu sıcaklık değeridir. Petrol bazlı bileşiklerin anilin gibi aromatik bir bileşik içinde çözülmesi tamamen o bileşiğin yapısına bağlıdır.

Düşük çözünürlüğe sahip parafınler, yüksek anilin noktası değerine sahiptirler. Örneğin, düşük yoğunluğa ve anilinde düşük çözünürlüğe sahip parafinik diesel yakıtların DI değeri yüksektir (Guibet [25]).

DİESEL MOTORUNDA YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI

LPG: Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG), petrolün damıtılması ve parçalanması esnasında elde edilen ve sonradan basınç altında sıvılaştırılan başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımıdır.

Ticari Propan: Ticari propan, başlıca propan ve propilenden meydana gelen, fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır.

Ticari Bütan: Ticari bütan, başlıca bütan ve bütilenden meydana gelen, fiziki metotlarda sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır.

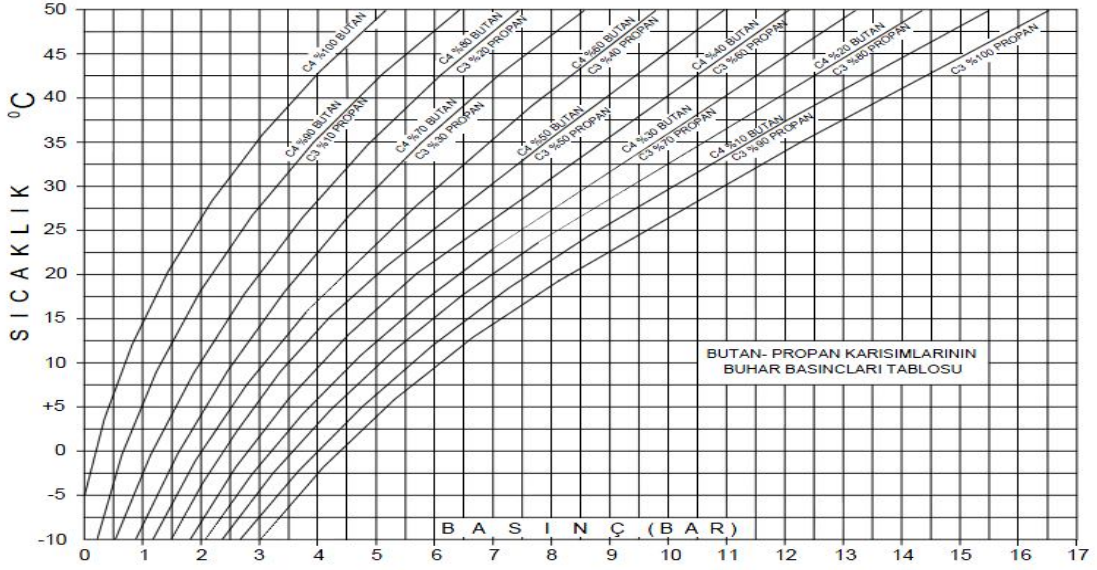
Ticari Propan-Bütan Karışımı: Ticari propan-bütan ve bütilenden meydana gelen, fiziki metotlarda sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır.

Özel Hizmet Propanı: Esas itibariyle propandan meydana gelen bir hidrokarbondur. Kütlece % 92 saflıktadır.

4.1 LPG' nin (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

LPG, Sıvılaştırılmış Petrol Gazı anlamına gelir. LPG bir hidrokarbon olup, temel olarak bir propan ve bütan karışımıdır. Petrolün işlenmesinden, ya da petrol yataklarında karışmış biçimde bulunduğu petrol veya CNG' den ayrıştırılarak elde edilir. Ticari şekliyle Bütanın kimyasal formülü C_4H_{10} , Propanın ise C_3H_8 'dir. Türkiye' de %30 Propan ve %70 Bütan' dan oluşan mix LPG kullanılmaktadır.

Bütanla propanı birbirinden ayıran dolayısıyla da kullanım şekillerini belirleyen buhar basıncıdır. Propan ve bütanın "buhar basınçları" sıcaklıkla orantılı olarak artar (Şekil 4.1) [28].



Şekil 4.1 LPG buhar basınçları

Sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gaz gibi, normal atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir.

Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere de sınıflandırılmaktadır. Doğal gaz yakıtlardan en önemlisi doğal gaz, üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi ise sıvılaştırılmış petrol gazıdır. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda (20-200 bar) sıkıştırılarak sıvılaştırmaktadırlar (LPG ve LNG veya CNG gibi). Sıvılaştırılmış petrol gazı, genellikle propan, butan, izobütan ve az miktarlardaki propilen ve bütileden oluşan bir karışımdır. En yaygın ürünler, propan, butan veya bunların belirli oranlardaki karışımıdır. LPG, genellikle doğal gazdan veya ham petrol, kuyulardan çıkarılması ve rafinerilerde tasfiye edilmesi sırasında ham petrolden ayrıştırılarak elde edilen ve kolayca sıvılaştırılabilen propan ve butan gazlarının, basınç altında sıvılaştırılmış halidir.

Ülkemizde hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden, taşıtlarda kullanılan LPG de %30 propan, %70 butan vardır, böylelikle tüm koşullar için uygun karışım sağlanmış olur. Soğuk iklimli bölgelerde kullanılan LPG' nin içerisindeki propan oranının artırılarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılmalıdır.

Avrupa ülkelerinde otomobillerde kullanılan LPG' nin propan ve butan karışım oranları Çizelge 4.1' de verilmiştir. LPG' ye basınç uygulandığında toplam hacim içerisindeki butan ve propan yüzdelere dağılır olarak 1/230 ile 1/267 oranında küçülür. Bu demek oluyor ki 267 m³ LPG sıkıştırıldığında sıvı olarak 1 m³ lük bir hacme sığar.

Sıvılaştırılmış petrol gazı, dolun tesislerinde tüplere doldurularak doğrudan tüketiciye sunulmakta, doğal gaz şebekesine bağlı olmayan evlerde, endüstriyel tesislerde ve taşıtlarda kullanılmaktadır [29].

Çizelge 4.1 Avrupa ülkelerindeki yaz ve kış mevsimlerinde LPG içerisindeki propan ve bütan oranları

Ülke Adı	Propan / bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Amanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

Çizelge 4.2 LPG' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri [30]

Yakıtın Özellikleri	Propan	Bütan	Benzin	Dizel
15 °C'de yoğunluk	0.508	0.584	0.73-0.78	0.81-0.85
Buhar basıncı (bar. 37.8 °C'de)	12.1	3.6	0.5-0.9	0.003
Kaynama noktası (0C)	-43	-0.5	+30-225	+150-560
Alt ısı değeri (kJ/m ³)	23 420	26 550	32 320	35 620
Üst ısı değeri (kJ/m ³)	46 500	45 460	44 030	42 400
Stokiyometrik oran	15.60	15.40	14.7	14.30
Karışım alt ısı değeri (kJ/m ³)	3 414	3 446	3 480	-----

Çizelge 4.2' de verilenlerden de görüleceği gibi benzin ve dizel yakıtların oda sıcaklığı üzerinde kaynama noktası değerleri vardır, LPG ise daha düşük sıcaklıklarda kaynar. Benzin ve dizel yakıtların atmosferik basınç da sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG' nin belirli bir basınçta bulundurulma zorunluluğunu gösterir. Teorik olarak benzinin kaynama noktası oda sıcaklığının üzerinde olmasına rağmen buharlaşmaya aynı derecede duyarlıdır. Bu nedenle modern araçlarda basınçlı yakıt tanklarında bulundurulurlar. LPG benzine kıyasla çok daha üstün antidetonasyon özelliğe sahiptir. Diesel ve benzine göre LPG' nin kg yakıt olarak daha iyi kalorifik gücü vardır, fakat hacim olarak karşılaştırma yapıldığında özgül ağırlıklarından dolayı tam tersi geçerlidir. Yapılan çalışmalarda LPG motorları, benzinle kullanıldığında %8 daha iyi performans vermektedir. Bu da teorik rakamlara kıyasla LPG' nin eşdeğerlik rakamı %8 oranının da düşüş göstermiştir.

LPG gaz olduğundan küçük damlacıklar halinde kalan benzine kıyasla havada daha iyi homojen bir karışım gösterirler. Bu gaz karışımı; dolayısıyla karbüratörden daha kolay geçer ve motorun performansını arttıracaktır [30].

Propan ve bütan karışımının oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Isı arttıkça basınç artar ve LPG' nin sıvı halindeki hacminde büyük değişikliklere neden olur; böylece, sıvı halindeki LPG ile dolu olan bir ortamda ısı arttıkça basıncında artmasına neden olur ve içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Hiçbir zaman bir tank LPG ile tamamen doldurulmamalıdır. Bütan ve Propan' ın belirleyici temel özelliklerinden biri buhar basıncıdır yani sıvının kapalı hacimdeki, buhar ile dengede olduğu basınç; bütan ve propan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise onların kaynama noktasıdır yani sıvı fazdan gaz faza geçtikleri derece: Propanın $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de gaz faza geçmesi durup, sıvı fazda kalırken bu bütanda $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' da görülür.

Özellikle soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimini ortaya çıkarır, böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Türkiye de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının da tüm koşullarda uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir [31].

LPG' nin bir özelliği de yağ ve boyayı eritebilmesidir. Ayrıca doğal lastiği de deforme eder. Bu yüzden ki motorlu araçlarda kullanılan esnek borular uygun kalitede sentetik malzemedен yapılmaktadır.

4.2 Taşıtlarda LPG Kullanımı

Dünyanın birçok ülkesinde LPG bugün alternatif otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Benzin ve motorin dışındaki tüm yakıtlar alternatif yakıtlar olarak ifade edilmektedir. Gaz yakıtlar yoğunluklarının düşük olması nedeniyle sıkıştırılarak sıvı olarak depolanabilirler. Benzinli motorlarda da motor konstrüksiyonlarında küçük değişikliklerle kullanılabilirler. Bu alanda kullanılan LPG miktarı, dünyadaki LPG miktarının yaklaşık % 5-6' sını oluşturur. Dünyada LPG ile çalışan araç sayısı 4 milyonu bulmakta ve bu sayı günden güne artmaktadır. Artan hava kirliliği nedeniyle birçok ülkede özellikle şehir içi ulaşımında LPG bugün için en çok tercih edilen alternatif yakıt durumundadır.

Ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde hava kirliliği artmakta yaz aylarındaki hava kirliliğinin yaklaşık %55'i motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır.

Özellikle LPG' nin güvenli dolun ve kullanma olanakları geliştirildiği takdirde hava kirliliği olan şehirlerimizde kullanımı, bu büyük problemi önemli ölçüde azaltacaktır. Ülkemizde son yıllarda LPG sistemi ile çalışan otomobiller yaygınlaşmıştır. Kullanımda ilk sırayı özellikle büyük şehirlerde ticari taksiler almaktadır [1] .

Çizelge 4.3 Taşıtlarda LPG kullanımı Yaygın olan Ülkeler [32]

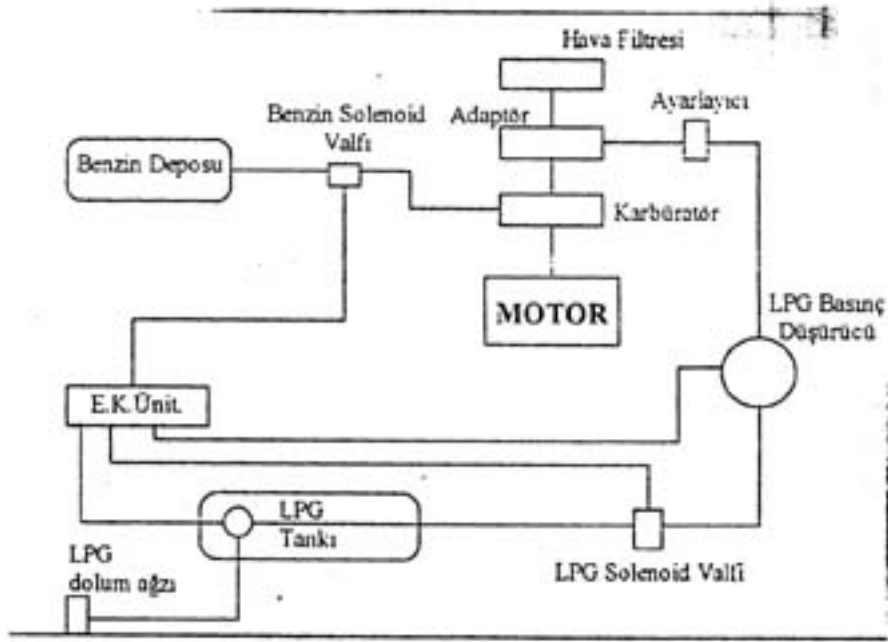
Ülke	Yıllık LPG Kullanımı (bin ton)	Taşıt Sayısı (Bin Adet)	Dolum istasyonu Sayısı
İtalya	1202	1050	1900
Hollanda	810	470	2000
Rusya	292	450	1000
Japonya	1814	305	1921
Güney Kore	1434	278	502
Tayland	140	19	92
Avustralya	890	330	2450
Meksika	1185	300	1500
ABD	112	350	3300
Kanada	649	140	5000
Diğerleri	451	267	3100
Dünya Toplamı	9879	4089	22598

4.2.1 Taşıtlarda Kullanılan LPG Sistemleri, Elemanları, Çalışması

4.2.1.1 Birinci Kuşak Sistemler

Uygulamaları çok basit olup, karbüratörlü motorlar üzerinde kullanılırlar. Ülkemizde şimdilik motorlu taşıtlarda birinci kuşak sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemin montajı çok basit olup, motor üzerinde herhangi bir değişiklik gerektirmediği gibi karbüratörlü motorlar için çok uygundur. LPG, içten yanmalı motorlarda kullanılırken özel bir karbüratör ve boru donanımına gereksinim vardır. LPG karbüratörünün problemleri LPG ile ilgili diğer cihazlarda mevcut problemlere benzer. İçeri alınan hava karışımı uygun özellikte olmalıdır. Bu karışım gaz miktarı fazla olursa gereğinden fazla sarfiyat olur, gaz miktarı az olursa bu defa da yeterli güç elde edilemez tank içinde LPG sıvı ve gazdan meydana gelmektedir. Tankın basıncı ortamın sıcaklığına bağlı olarak 2 ila 14 bar arasında değişebilmektedir. Sıvı gaz LPG solenoid valfini geçerek iki kademeli basınç düşürücüsüne gelir.

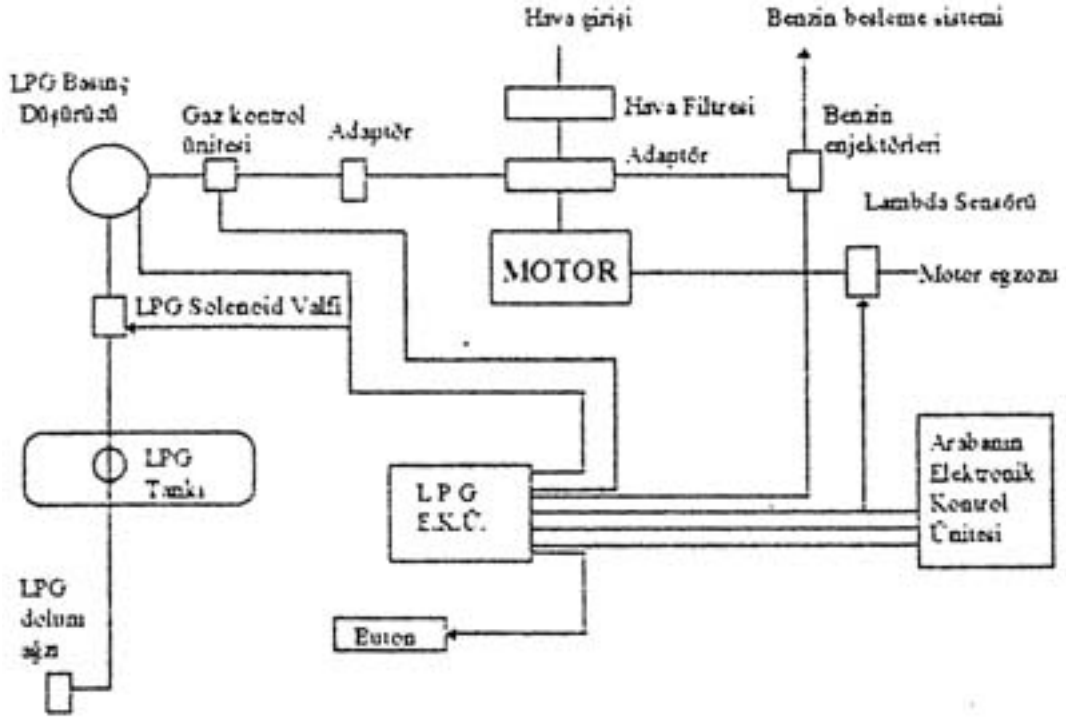
Bu noktada gaz fazına geçen LPG basıncı yaklaşık olarak 0.5-0.6 bar civarına düşmekte ve bu basınçla karbüratöre girmektedir. Bu dönüşümden sonra motor ya LPG ya da benzin ile çalışmaktadır. Şekil 4.2’de birinci kuşak sistemlerin şekli görülmektedir.



Şekil 4.2 Birinci kuşak sistemler

4.2.1.2 İkinci Kuşak Sistemler

Son yıllarda özellikle Avrupa ve Amerika’ da motorlu taşıtlardan havaya atılan kirli bileşenleri sınırlandırma çalışmaları yapılmış ve bazı normlar geliştirilmiştir. Birinci kuşak sistemler bu ihtiyaca cevap verememiştir. 1980’ li yılların sonlarına doğru ikinci kuşak sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bunların birinci kuşak sistemlerden ayrılan en önemli özellikleri arabada mevcut olan lambda sensöründen aldığı bilgiye göre kullanıcı kontrolüne gerek kalmadan gaz miktarını sürekli olarak kontrol etmesidir. Birinci kuşak sistemlerde olduğu gibi araç hem benzin hem de LPG ile çalışabilmektedir. Bunların yanı sıra dışarı atılan emisyonları azaltmak için üç yollu katalitik konvertörler ve elektronik kontrol üniteleri de benzinli motor endüstrisine girmiştir. Şekil 4.3’de bu sistemlerin çalışma şeklini görebiliriz.

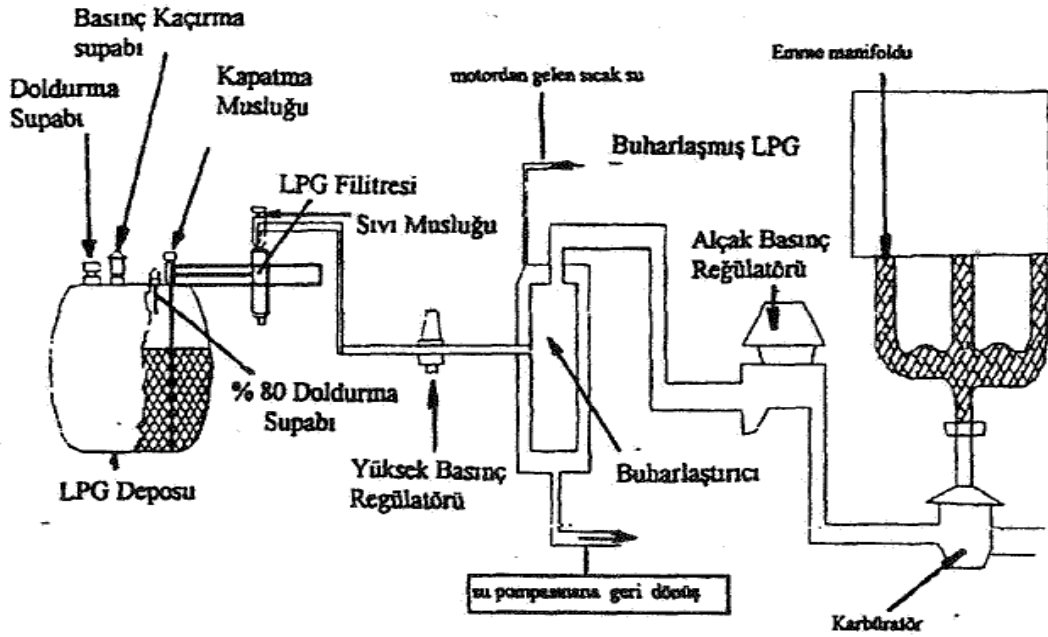
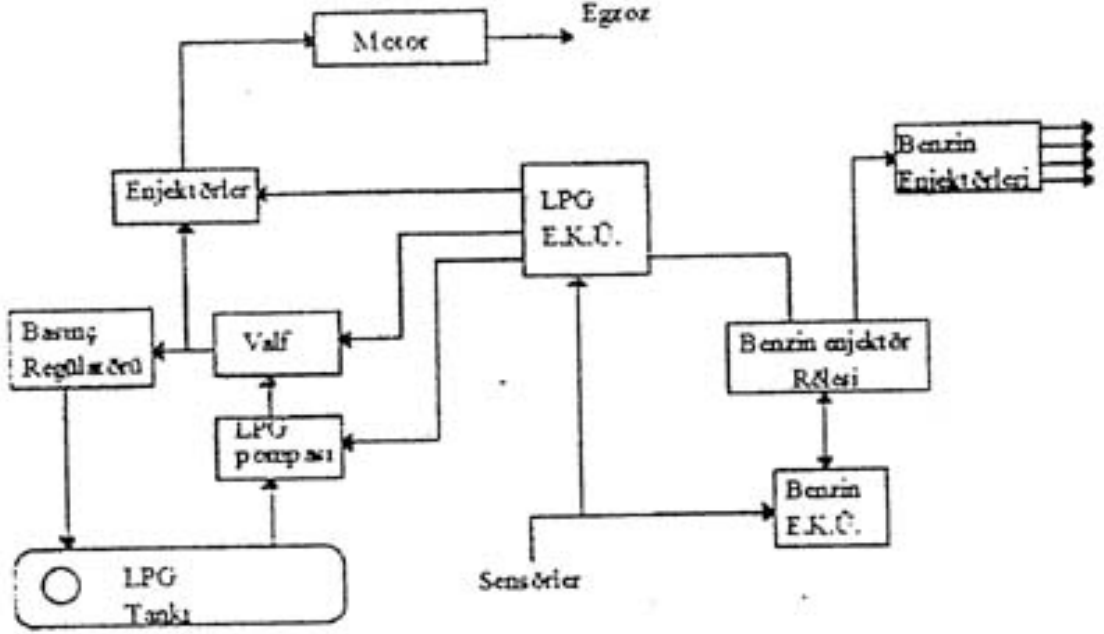


Şekil 4.3 İkinci kuşak sistemler

4.2.1.3 Üçüncü Kuşak Sistemler

Bu sistem birinci ve ikinci kuşak sistemlere göre daha karmaşıktır. Bu sistemde motor ilk başta benzin ile çalıştırılır daha sonra otomatik olarak LPG ile çalışma devam eder. Bu sistemde LPG gaz veya sıvı halde subapın üstüne enjekte edilmektedir. Motor performansı 1. ve 2. kuşak sistemlere nazaran çok daha iyidir. Geri tutuşma tehlikesi kesinlikle bulunmamaktadır. Günümüzdeki egzoz emisyon sınır normlarına uyum açısından bir sorun teşkil etmemektedir. LPG tankında bir pompa mevcuttur. Bu pompa LPG besleme hattındaki basıncı her zaman tank basıncının 5 bar üstünde tutmakta ve her enjektör emme zamanında LPG'yi merkezli olarak tam subapın üzerine püskürtür. LPG kitini meydana getiren parçalar; LPG tankı basınç düşürücü, LPG elektro valfi, LPG pompası, LPG elektronik kontrol ünitesi, enjektörler, sensörler, benzin elektronik kontrol ünitesi, benzin enjektör rölesi ve benzin enjektörleridir. Elektronik kontrol ünitesi, LPG gazı ve benzin solenoid valflerini kumanda etmektedir. Kontak açıldığında motora gaz verilmekte eğer motor 3-4 saniye içinde çalışmazsa elektronik kontrol ünitesi gaz solenoidini kapatarak gazı kesmektedir.

Motor herhangi bir sebeple ister kontaktan, ister başka bir şekilde stop ettirildiğinde elektronik kontrol ünitesi bu andan itibaren gazı kesecektir. Şekil 4.4' de Üçüncü kuşak sistemlerin şekli görülmektedir [27].



Şekil 4.5' de görüldüğü gibi yakıt deposundaki basıncın etkisi ile sıvı yakıt depodan yakıt borularıyla yüksek basınç regülatörüne gönderilir.

Depodaki basınç atmosferden atmosfere kadar değişebilir. Yüksek basınç regülatörü yakıt basıncını 0.5-1 atmosfere düşürür. LPG yakıtı yüksek basınç regülatörünü yarı gaz yarı sıvı olarak terk eder ve böylece buharlaştırıcıya gider. Buharlaştırıcı iç içe iki boru olup iç borudan LPG yakıtı geçerken, dış borudan da motordan gelen sıcak su geçmektedir. Sıcak su bir kısım ısısını yakıtı vererek onun tam buharlaşmasına yardım eder. LPG yakıtı buharlaştıktan sonra, alçak basınç regülatörüne geçer ve basıncı atmosferik basıncın biraz altına düşer. Böylece, yakıt karbüratöre geçmeye hazır hale gelmiş olur. Yakıt basıncının atmosferik basıncın biraz altına düşürülmesi motor çalışıp silindirlere hava akışı başlamadan, yakıtın kendi kendine akışını önler. Hava akışı, karbüratör ventürisinde vakum meydana getirildiğinde, karbüratör havaya karışır.

Karbüratör esas itibarıyla bir karıştırıcı subaptır. LPG yakıtı karbüratöre buhar halinde girdiği için bu sistemde, normal karbüratörlerde olduğu gibi, yakıtı atomize etmeye ve buharlaştırmaya gerek yoktur. Yakıt, hava boğazındaki bir gaz memesinden, karbüratörden geçmekte olan havaya karışır.

4.2.2 Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları ve Dezavantajları

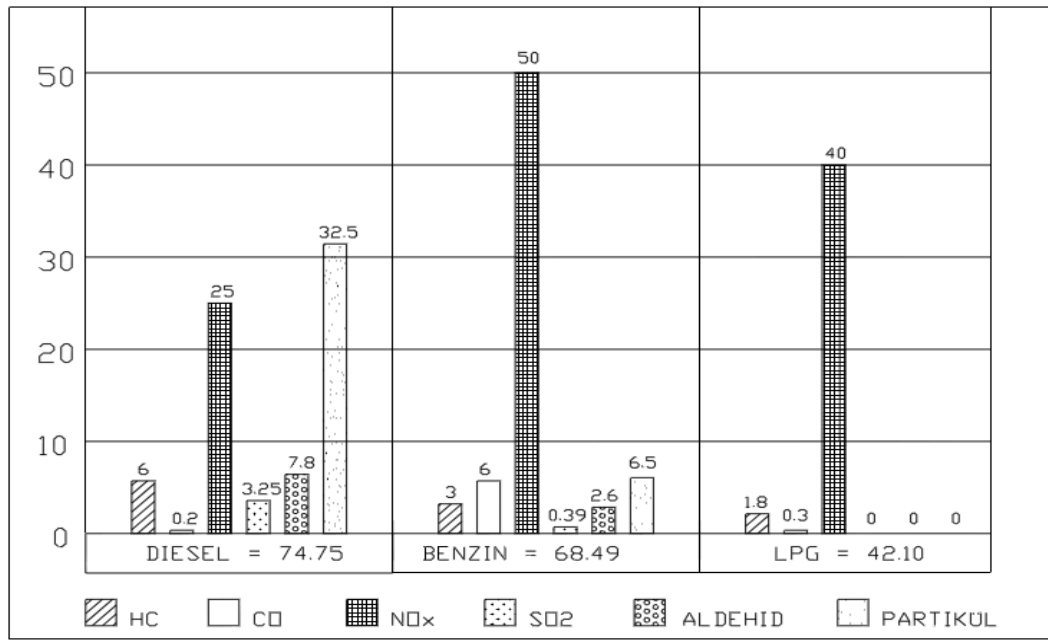
LPG' nin oktan sayısı yüksektir (105 RON). Gaz fazında hava ile daha uniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir. Sıvı yakıtın buharlaşıp kartere sızarak karterdeki yağı sulandırması bu sistemde yoktur. LPG yakıtları emme manifolduna tamamen buharlaşmış olarak girer. Bu nedenle motor yağı seyreltisi olmadığından motor yağı daha uzun ömürlüdür. Sıvı yakıtın buharlaşmasından dolayı yoğunlaşan yakıtın silindir cidarlarındaki yağı yok ederek silindir ve segmanları yağsız bırakması problemi, LPG yakıtlı motorlarda olmaz. Benzin ve dizel yakıtına göre egzoz çıktısı daha temizdir. İşletme ve bakım masrafları azdır. LPG yakıtlı sistemin, benzine göre soğuk havalarda ilk hareketi kolaydır. Diğer yakıtlara göre daha ucuzdur.

Ancak, basınç altında sıvılaştırılarak depo edildiğinden dağıtım ve depolanması zordur. Motorlarda LPG kullanıldığında sıkıştırma oranı büyük seçilebiliyorsa tüm yakıtın buhar fazında motora girmesi hacimsel (volumetrik) verimi düşürdüğünden motor verimi çok fazla olmamaktadır. Kuru yanma, yanma odasının çabuk aşınmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda, LPG istasyonları yetersiz olduğundan yakıt temini zordur [32].

4.3 LPG ve Çevre

Trafikteki artış çevreyi ve enerji tüketimini giderek daha kötü biçimde etkilemektedir. Karbon ve azot monoksit, yanmamış hidrokarbon, kurşun, karbondioksit, kükürt dioksit, kömür parçacıkları (dieselde) gibi emisyonların çevreye yayılmasından özellikle taşımacılık sektörü sorumludur.

Yanma olayı kaçınılmaz olarak kirleticidir. Yanma sonucu oluşan emisyonlar yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yakıcı-yakıt karışımının bileşimine, ayrıca yanma sürecine ve çevre koşullarına bağlıdır [28].



Şekil 4.6 Diesel, Benzin ve LPG emisyonlarının karşılaştırılması

Benzin, kurşunsuz yakıt, diesel ve LPG emisyonlarını karşılaştırırsak, tüm bu yakıtların karbon ve azot monoksitlerle birlikte yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini, ancak kurşunun yalnızca benzin tarafından açığa çıkarıldığını görürüz. Bundan başka, LPG kükürt dioksit ve aromatikleri üretmez (Şekil 4.6) [28].

Yanmayla ortaya çıkan tüm ürünler havanın kalitesi üzerinde kötü etki yapar. Ancak mutlak madde miktarlarından daha önemli olan, her bir bileşiğin zehirlilik derecelerinin bilinmesi ve gerçek zararlılık ölçülerinin tanımlanmasıdır.

Yanma sırasında daha zehirli ürünler olan kükürt dioksit ve kurşun, LPG' de bulunmamaktadır.

Dahası, LPG' nin yanmasıyla oluşan yanmamış hidrokarbonlar da, LPG' de katkı ve aromatikler olmadığı için, diğer yakıtlarınkilere oranla daha az zehirlidir.

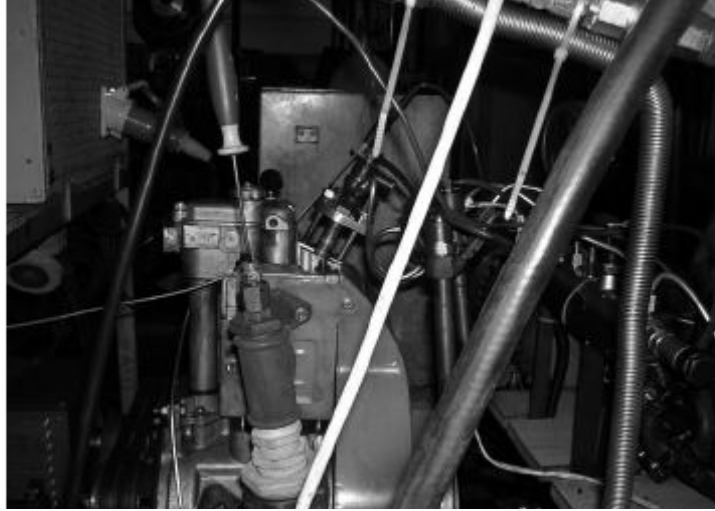
Aşağıdaki nedenlerle LPG' nin daha az kirletici olduğunun altı çizilmelidir:

- Yanma olayı gaz halinde oluşur. LPG bir gaz olduğundan, bu sürece daha uygun olup, daha homojen ve içinde kömür parçacıkları bulunmayan bir karışımın garantisidir.
- Yüksek termodinamik özellikleri daha kolay ve iyi yanma sağlar.
- Kurşun, kükürt ve aromatikler gibi katkıları içermez.

DENEY DÜZENEĞİ KURULUMU

5.1 Motor Yükleme Düzeneği Grubu

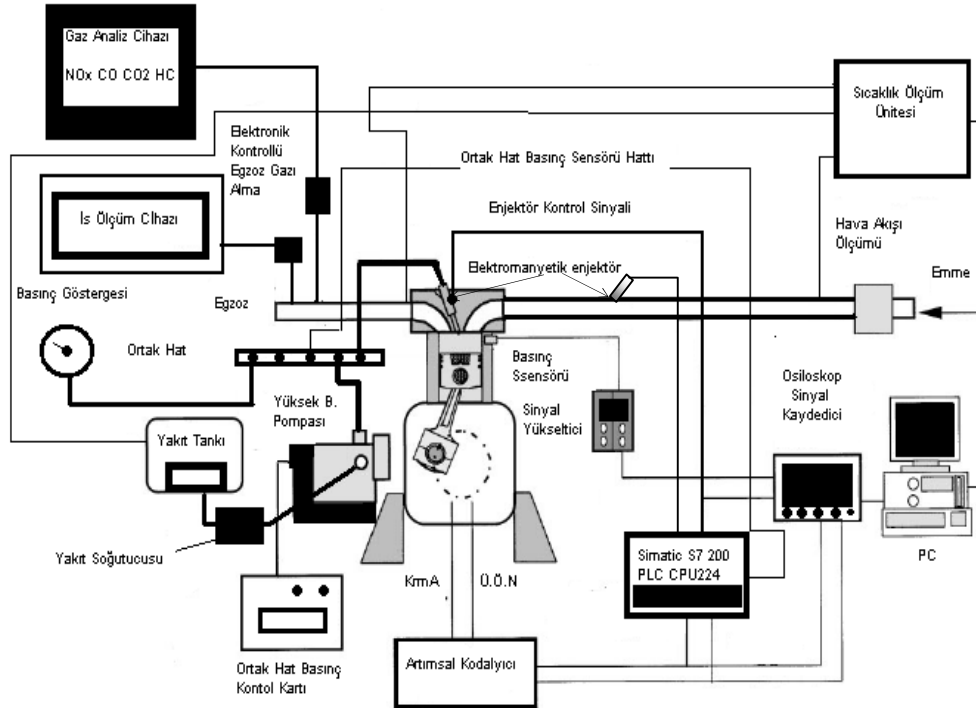
Bu çalışmada Lombardini marka, hava soğutmalı, tek silindirli bir Diesel motoru kullanılmıştır. Motorun genel görünümü Şekil 5.1' de, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1' de görülmektedir.



Şekil 5.1 Deney Motoru Görünümü [18]

Çizelge 5.1 Deney motoru teknik özellikleri

Markası	ANTOR- LOMBARDINI
Modeli	LDA 450
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir çapı (mm)	85
Stroku (mm)	80
Strok hacmi (cm ³)	454
Kompresyon oranı	17,5:1
Devir (d/d)	3000
Güç (N DIN70020) (kW)	7,5
Maksimum tork (Nm)	28,5
Yakıt tüketimi (lt/h)	1,7
Yağ tüketimi (kg/h)	0,007
Boş ağırlık (kg)	57
Yanma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	560
Soğutma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	9000
Krank mili maksimum eksenel yük (kg)	250



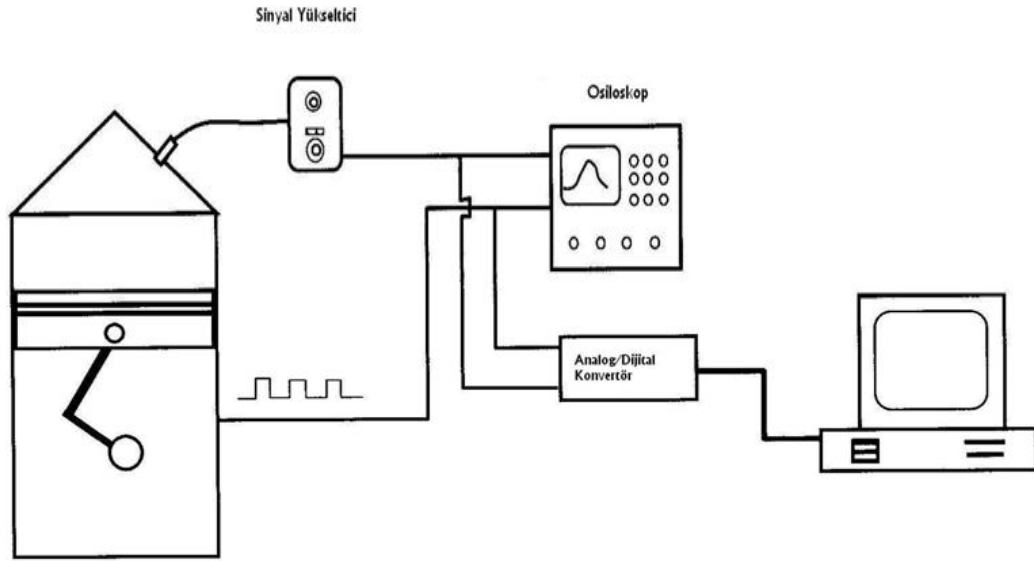
Şekil 5.2 Deney sistemi genel görünümü

5.2 Egzoz Emisyon Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada AVL marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz hattından bir selenoid vana vasıtasıyla emiş yapılarak egzoz gazlarının içerisindeki CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda miktarlarının tespiti yapılmıştır. Deneyler esnasında egzoz numunesinin otomatik olarak alınabilmesi için üç yollu elektrikli selenoid bir vana ile kontrol edilen egzoz gazı toplama probu tasarlanmıştır [18]. Bu sistemde mevcut selenoid vana 220 volt elektrik ile beslendiğinde egzoz gaz analiz cihazı ile egzoz akış hattından numune toplayan probu birleştirirken, elektrik kesildiğinde egzoz toplama ağzını kapatıp cihazın ortam havasını almasını sağlamaktadır.

5.3 Silindir İçi Basınç Ölçüm Sistemi

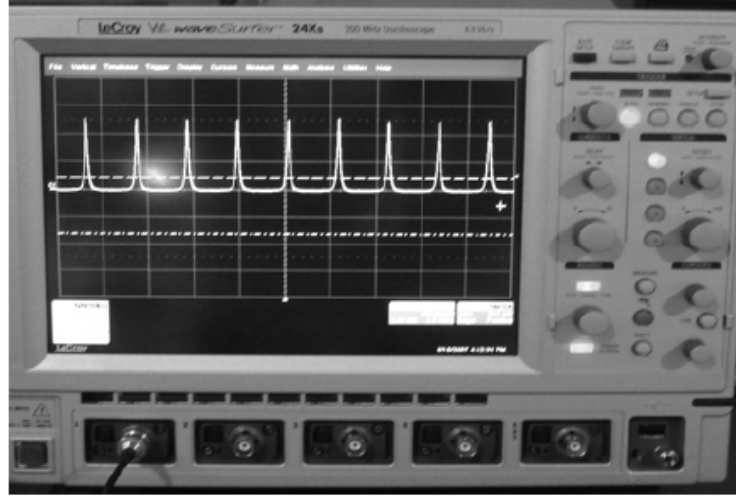
Modern laboratuarlarda ölçüm için piezzo elektrik basınç transduserleri kullanılmaktadır. Şekil 5.3' de modern laboratuarlarda kullanılan tipik bir silindir içi basınç ölçüm sistemi görülmektedir.



Şekil 5.3 Silindir içi basınç ölçümü deneysel altyapı şeması

Basınç transduseri basıncı elektrik sinyallerine dönüştürür. Bunlar sinyal yükseltici ile bilgisayarın ölçebileceği seviyeye gelir. Bilgisayarın ses girişine gelen bu sinyaller aynı zamanda osiloskop vasıtası ile elektrikselsel dalga şeklinde gözlemlenir. Transduser silindir kafasına delik açılmak sureti ile yerleştirilmiştir. Diğer taraftan silindir içi basınç sinyalinin yükseltilmesi için aynı firmanın ürettiği sinyal yükseltici kullanılmıştır.

LeCroy marka 4 kanallı dijital osiloskop vasıtasıyla silindir içerisindeki basınç değişimleri incelenmiş ve kayıt edilmiştir. Ayrıca ÜÖN sinyali ve püskürtme sinyali değişimleri de bu osiloskop ile kayıt edilmiştir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de sinyal yükseltici ve osiloskopun genel görünümü görülmektedir [18].



Şekil 5.4 Osiloskopun genel görünümü [18]



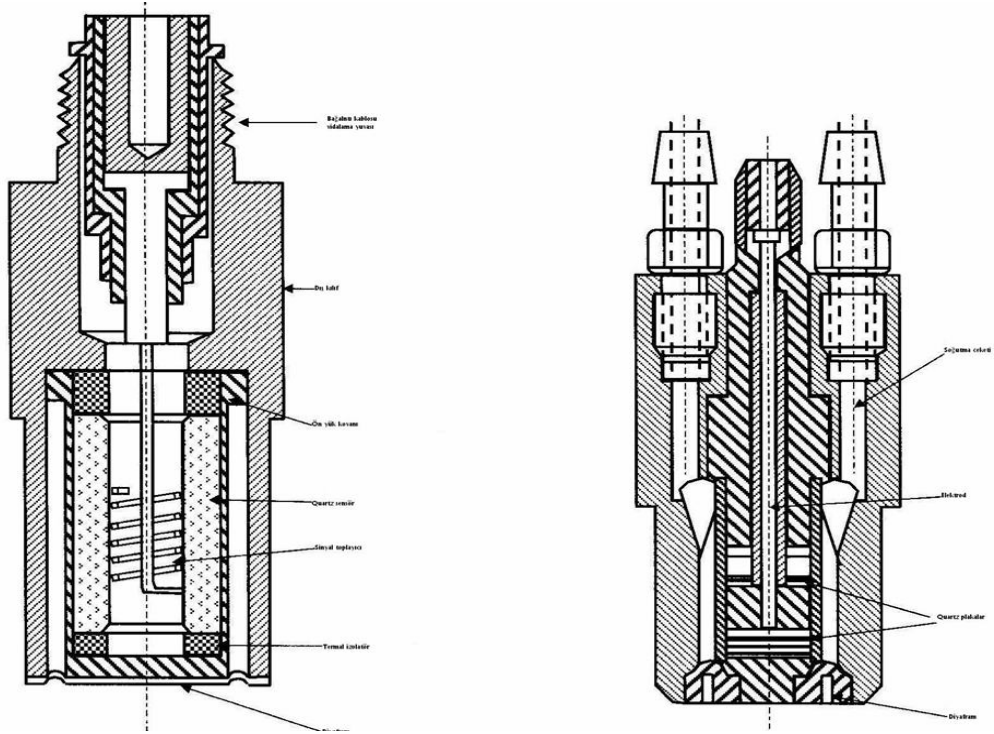
Şekil 5.5 Sinyal yükseltici genel görünümü [18]

Çizelge 5.2 Basınç transdüseri ve sinyal yükseltici özellikleri [18]

Markası	Kistler	Markası	Kistler
Modeli	6052 B	Modeli	5011 B
Ölçüm aralığı	0–150 bar	Ölçüm aralığı	$\pm 10 \dots 999000$ pC
Hassasiyet	-19,92 pC/bar	Hassasiyet	0,01...9990 pC/bar
Kalibre sıcaklığı	200°C	Çıkış gerilimi	± 10 V
Bağlantı Tipi	M5 x 0,5	Çıkış direnci	10 Ω

Şekil 5.6' da Kistler Instrument Ltd. tarafından üretilmiş bir transduserin kesit resmi görülmektedir. Bu transduserde quartz kristal silindir şeklinde kesilmiştir. Silindir içi basıncın yükselmesi ile metal diyafram quartz kristali sıkıştırır. Sıkıştırmanın artışı ile birlikte kristalin iç ve dış yüzeyleri elektriklenir. Bu elektrik yükü picocoulomb (pC) olarak ölçülür ve kristale etki eden yükü ifade etmektedir. Bu özellik piezo elektrik olarak tanımlanmaktadır.

Basınç transduseri silindir duvarına ya da küçük bir delik kanal aracılığıyla motora bağlanır. Diesel motorlarda bu küçük delik zamanla dolabilir. Ayrıca kanal çapının çok küçük olması basınç düşüşlerine neden olabilir (Zhao [34]).



Şekil 5.6 İki farklı Piezo elektrik basınç transduseri şematik şekli (Zhao [34])

Sinyal yükseltici çıkışı krank açısı tabanlı olarak kayıt edilir. Bu kayıt esnasında veri toplama sistemi konum belirlemek için bir shaft artımsal kodlayıcı kullanılmaktadır. Bu sistemde sinyal toplama oranı, kodlayıcının hassasiyetine bağlıdır. Örneğin buji ateşlemeli bir motorda, basınç yükselmesi göreceli olarak daha yavaş olduğundan 1^0 Kma çözünürlük yeterli olacaktır. Ancak vuruş üzerine bir çalışma yapılıyorsa bu değer olabildiğince düşük olmalıdır. Diesel motorlarında ise basınç yükselmesi çok yüksek olduğundan $1/4^0$ Kma aralık ile değer alınması daha yaygın olarak tercih edilmektedir.(Zhao [34]).

Sinyal yükseltici çıkışı volt cinsinde vermektedir. Basınç transduseri belirli bir referans noktasına göre basınç değişimlerini vermektedir.Çıkış voltajı ile krank açısına bağlı gerçek basınç arası ilişki (5.1) denklemindeki gibi verilmektedir.

$$E(\theta) = \frac{P(\theta)}{C} + E_b \quad (5.1)$$

Burada, E_b sıfır basınç değerindeki ön gerilimi ve C (bar/v) sistemin kalibrasyon faktörünü (kazancı) ifade etmektedir. Bununla birlikte, basınç değerlerinin çevrim içindeki yerinin belirlenebilmesi için, basınç değerleri belirli noktalarda referanslanması gerekmektedir.

Randolph (1990a) bu referanslama işlemi için dokuz metot belirlenmiştir. En yaygın olarak alt ölü nokta (AÖN) referanslanması kullanılmaktadır. Bu noktada silindir basıncı emme manifoldu basıncına eşit kabul edilmektedir. Böylece, krank açısı değişimine bağlı çıkış voltajı değişimi (5.2) denklemiyle elde edilmektedir.

$$p=C.(E-E_{IBDC})+p_{IBDC} \quad (5.2)$$

Burada, E_{IBDC} mutlak basıncın elde edildiği sinyal yükselticinin alt ölü noktadaki çıkış değeridir.

5.4 Enjektörlerin Kontrolü

5.4.1 LPG Enjektörünün Kalibrasyonu

PLC ile kontrol edilen içten yanmalı diesel motor setinde, motor hızı 1000 d/d olacak şekilde İçten yanmalı motor dışarıdan DC motor ile tahrik edilmiştir.

Bu çalışma şartında sırasıyla 3500, 5500 ve 6500 μ s süreyle LPG enjektöründen yakıt sevki sağlanmıştır. Motorun belirlenen şartta 2 gr LPG yakıtını tüketme süresi ölçülmüş ve dakikada 500 çevrim gerçekleştirdiği dikkate alınarak, bir çevrim başına püskürttüğü yakıt miktarı belirlenmiştir.

5.4.2 Diesel Enjektörünün Kalibrasyonu

PLC ile kontrol edilen içten yanmalı diesel motor setinde, yakıt basıncı 1400 bar'a getirildikten sonra 300 ila 600 μ s arasında püskürtme süresinde sevk edilen yakıt miktarları ölçülmüştür. Deneylerde enjektör gerilimi 18 V olarak sabitlenmiş ve PLC ile enjektörün ardışık 1000 püskürtme yapması sağlanmıştır. Ölçümden önce yakıt püskürtülen kabın darası hassas terazi ile belirlendikten sonra, 1000 püskürtme sonundaki kütle değişimi ölçülmüş ve ilk değer ile son değer arasındaki fark 1000'e bölünerek bir çevrimde püskürtülen yakıt miktarı belirlenmiştir.

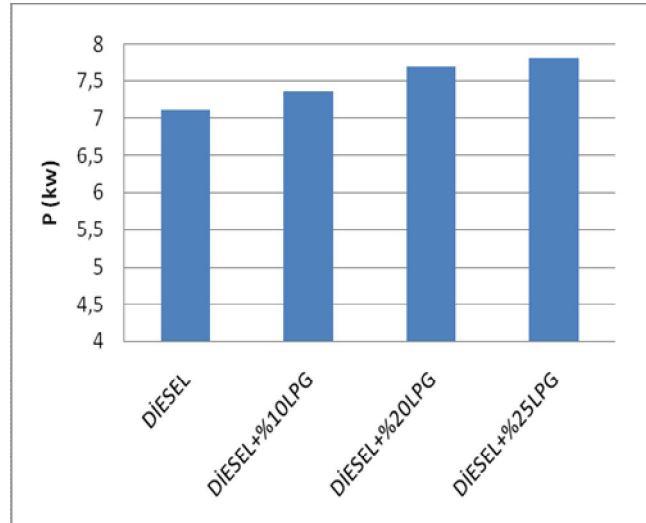
LPG'NİN EK YAKIT OLARAK DİSESEL YAKIT İLE BİRLİKTE DİSESEL MOTORDA KULLANIMI

Deney başlangıcında, DC motor ile ilk hareketi verilen içten yanmalı motor 5 dakika yakıt püskürtülmeden ısıtılmıştır. Bu süreyi takiben motor 5 dakika süreyle minimum yakıt sevki ile rölanti konumunda çalıştırılmış ve akabinde ölçümlere geçilmiştir. Deneylere başlamadan önce diesel yakıtı püskürtme basıncı 1400 bar'a ayarlanmıştır. Deneylerde püskürtülen yakıt miktarı motorun maksimum güç değerinde tükettiği yakıt miktarı karşılayacak şekilde ayarlanmış ve öncelikle diesel yakıtı ile referans değerler alınmıştır. Bu deneyleri takiben diesel yakıtı sevk süresi azaltılarak, LPG yakıtının sevki arttırılmıştır. Sırasıyla tek faz diesel yakıtı 600 μ s, 570 μ s Diesel + 3500 μ s LPG, 550 μ s Diesel + 5500 μ s LPG, 500 μ s Diesel + 6500 μ s LPG, deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışım deneylerinde diesel yakıt püskürtme avansı Ü.Ö.N 'dan önce 20 Kma olarak değiştirilmiş ve etkileri gözlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm deneylerde, motor torku, motor hızı, silindir içi basınç değerleri ve egzoz emisyonları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Deneyler sırasında, Ü.Ö.N sinyali ile püskürtme sinyali osiloskop aracılığıyla kayıt edilmiştir. Değişik noktalara yerleştirilen termokupullar ile yakıt, egzoz çıkış, ortam ve emme sıcaklıkları da tespit edilmiştir.

6.1 Motor Performansı ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkileri

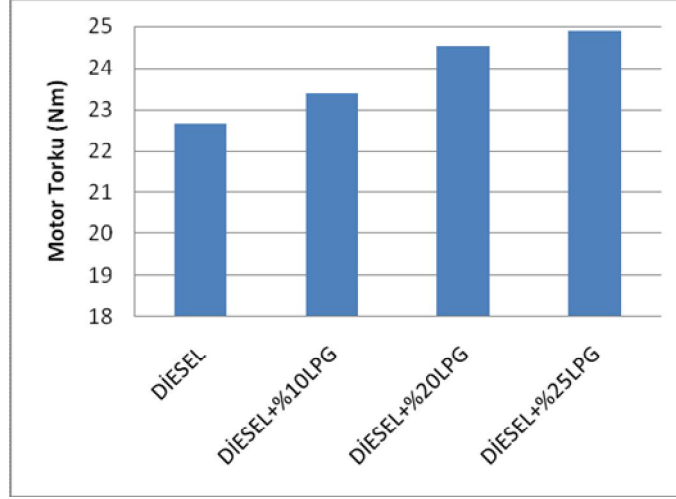
Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde, LPG ilavesindeki artışın performans değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Genel olarak tüm yakıtlar için püskürtmenin ÜÖN dan 20 Kma önce yapıldığı şartta maksimum güç değerleri elde edilmiştir.

Şekil 6.1' de görüldüğü motorin için yapılan deneylerde 1400 bar püskürtme basıncı değeri için 3000 d/d motor hızında 7,11 kw güç elde edilmiştir. Aynı motor hızı ve püskürtme basıncı şartında, diesel+%10 LPG yakıtı için 7,35 kw , diesel+%20 LPG yakıtı için 7,70 kw ve diesel+%25 LPG yakıtı için 7,81 kw güç elde edilmiştir. LPG ilavesinin uygun püskürtme avansı değerinde motorun güç değerini düşürmediği gözlenmiştir.



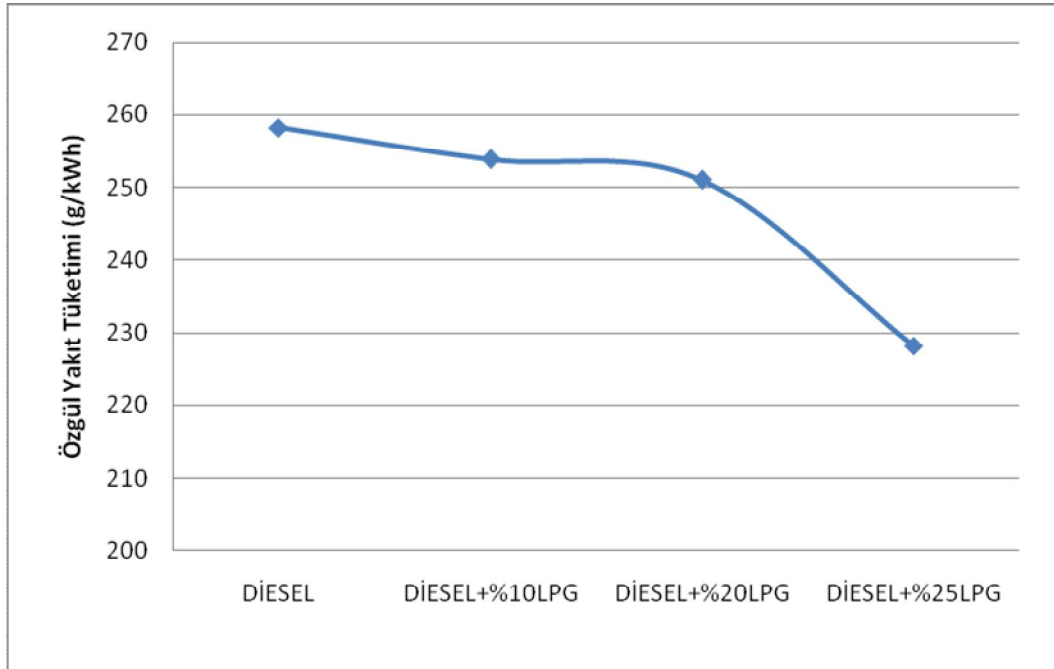
Şekil 6.1 20° avans için güç değerleri

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, püskürtmenin ÜÖN 'dan 20 Kma önce yapılan deneylerde 1400 bar püskürtme basıncı değeri için 3000 d/d motor hızında motorin için yapılan deneylerde maksimum tork değeri 22,66 Nm elde edilmiştir. Aynı motor hızı ve püskürtme basıncı şartında, diesel+%10 LPG yakıtı için 23,40 Nm , diesel+%20 LPG yakıtı için 24,53 Nm ve diesel+%25 LPG yakıtı için 24,88 Nm tork elde edilmiştir. LPG ilavesinin uygun püskürtme avansı değerinde motorun tork değerini düşürmediği gözlenmiştir.



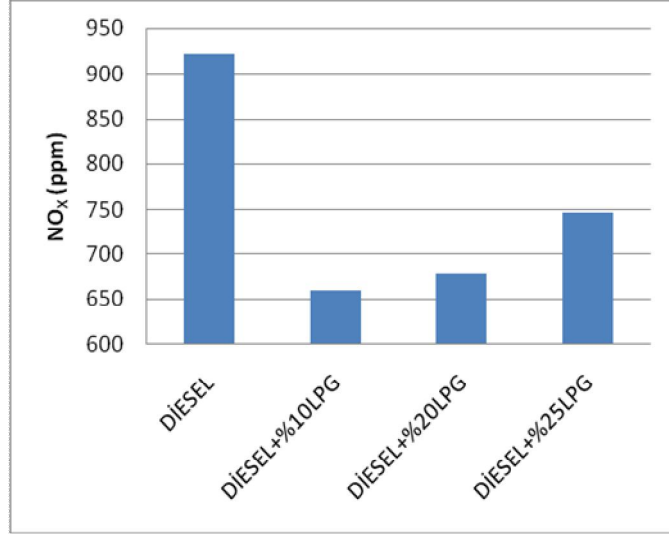
Şekil 6.2 20° avans için tork değerleri

Şekil 6.3' de verilen özgül yakıt tüketim eğrisi incelendiğinde; % 10 LPG, % 20 LPG, % 25 LPG katkılı diesel yakıt kullanımının saf dizel yakıtı kullanımına göre özgül yakıt tüketiminin daha düşük olduğu görülmektedir. Özgül yakıt tüketim eğrisinden de görüldüğü gibi saf diesel yakıt kullanımında özgül yakıt tüketim değeri 258.19 g/kWh iken %10 LPG katkılı diesel yakıt kullanımında 253.83 g/kWh ,%20 LPG katkılı diesel yakıt kullanımında 251.06 g/kWh , %25 LPG katkılı diesel yakıt kullanımında ise 228,23 g/kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.3 Püskürtme avansı 20 Kma çalışma şartında özgül yakıt tüketim eğrisi (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)

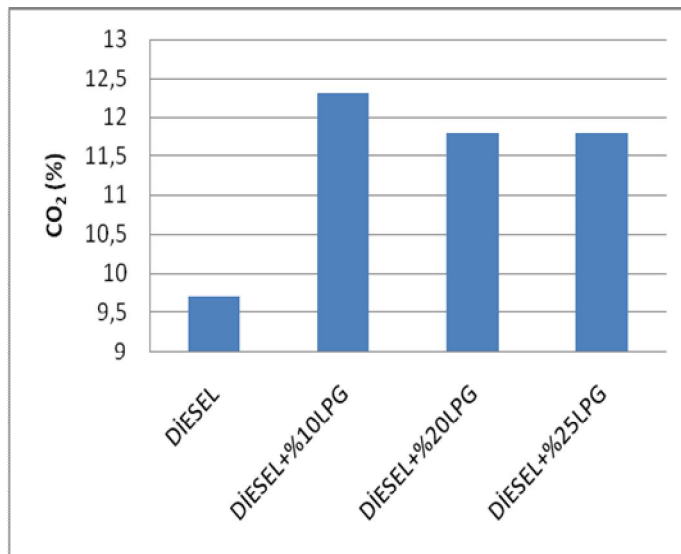
Emisyon sonuçları incelendiğinde, püskürtmenin ÜÖN 'dan 20 Kma önce yapılan deneylerde 1400 bar püskürtme basıncı değeri için 3000 d/d motor hızında motorin için yapılan deneyde en yüksek NO_x değeri gözlenmiştir. LPG katkılı yakıtların kullanımında ise püskürtme avansı 20 Kma değerinde iken NO_x değeri önce düşüş göstermiş, ancak LPG ilavesi arttıkça NO_x değeri de artmıştır (Şekil 6.4).



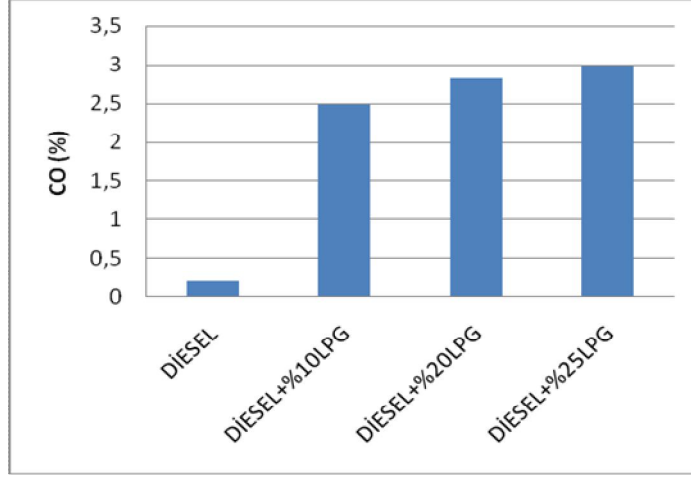
Şekil 6.4 20° avans için NO_x emisyonu

CO₂ emisyonu değişimleri incelendiğinde, diesel yakıtı göre LPG katkılı yakıt kullanıldığında Şekil 6.5' de görüldüğü gibi bazı sapmalar olsa da arttığı gözlenmiştir.

Şekil 6.6' da verilen CO emisyon değişimleri incelendiğinde ise püskürtme avansı 20 Kma iken diesel yakıtı LPG ilavesi yapıldıkça arttığı görülmektedir.

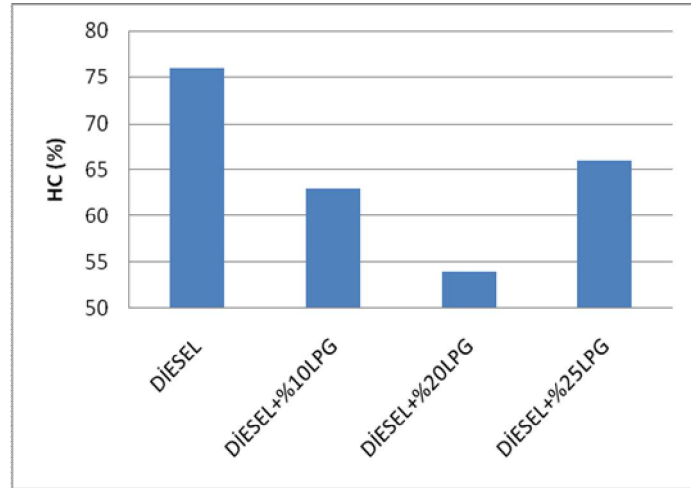


Şekil 6.5 20° avans için CO₂ emisyonu



Şekil 6.6 20° avans için CO emisyonu

HC emisyon değerleri incelendiğinde; püskürtme avansı 20 Kma iken HC emisyonunda saf diesel yakıtı göre LPG ilavesi yapıldıkça önce azalmış, %25 LPG ilavesi yapıldığında artma eğilimine geçtiği gözlenmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 20° avans için HC emisyonu

6.2 Silindir İçi Basınc ve Isı Yayınım Analizi

İçten yanmalı motorlarda literatürde en çok kullanılan ısı açığa çıkış ifadesi termodinamiğin 1. kanununa göre ortaya konmaktadır. Bu ifade basitleştirilmiş bir ifadede olmasına rağmen yakın sonuçlar vermektedir, bu denklemde yer alan dQ_w ifadesi cidara geçen ısıyı temsil etmektedir (Brunt [35], Egnell [36], Çanakçı [37]).

$$\frac{dQ_{hr}}{dt} = \frac{\bar{\gamma}}{\bar{\gamma}-1} \cdot p \frac{dV}{dt} + \frac{1}{\bar{\gamma}-1} \cdot V \cdot \frac{dp}{dt} + \frac{dQ_w}{dt} \quad (6.1)$$

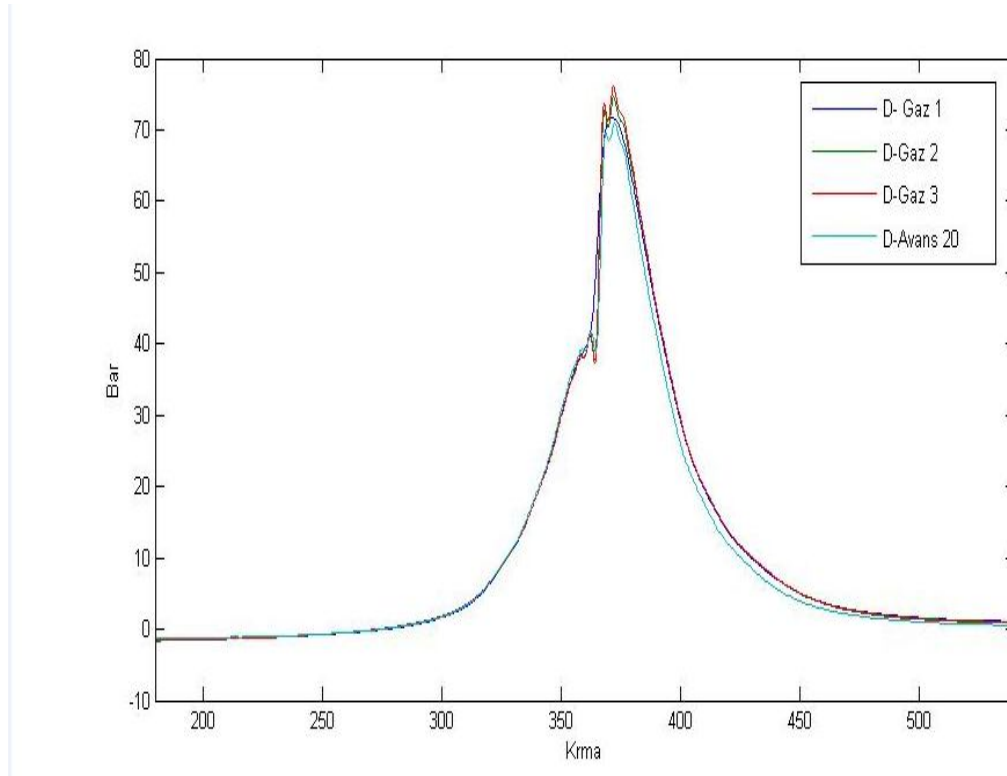
Denklem (6.1)' de γ , dolgu sıcaklığı ve kompozisyona göre değişmektedir. Gama, hesaplanan ısı açığa çıkışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İdeal olarak, gama hava-yakıt oranı, EGR, dolgu basıncı ve sıcaklığına göre değişse de, genelde sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu bağlamda daha önce yapılmış çalışmalara göre gama için denklem (6.2)' deki korelasyon verilebilir (Brunt vd. [38]).

$$\gamma = 1.35 - 6.0 * 10^{-5} * T + 1.0 * 10^{-8} T^2 \quad (6.2)$$

Denklem (6.2)' de T , Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Burada 1000 K değeri için bu denklem 1.3 değerini, 2000 K için ise 1.27 değerini almaktadır.

Basit modellerde, Otto motorlarında yanma sabit hacim Diesel motorunda ise sabit basınçta kabul edilmektedir. Gerçekte ise motor basınç ve sıcaklık değerleri bu basit model ile bağdaşmamaktadır. Bu nedenle sonlu ısı açığa çıkış modeli tercih edilir. Sonlu ısı açığa çıkış modeli, motorun güç çevriminin krank açısına bağlı ısı girişinin fonksiyon olarak tanımlandığı diferansiyel bir modeldir (Ferguson [20]).

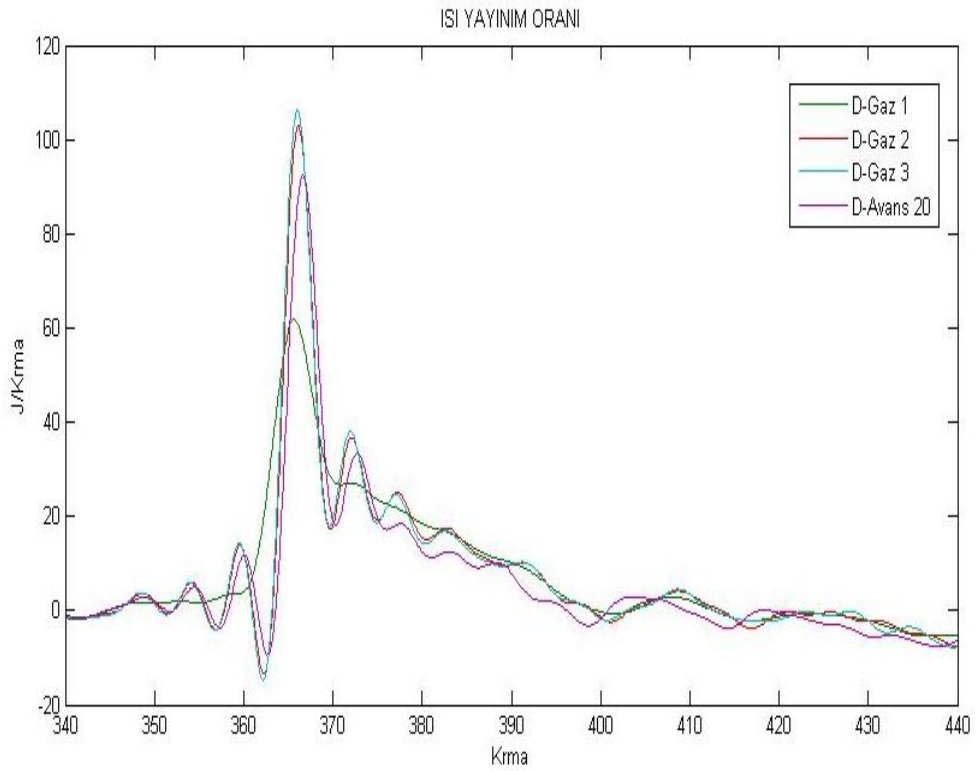
$$\frac{dp}{d\theta} = \frac{\gamma-1}{V} \left[Q_{in} \frac{dx}{d\theta} - \frac{dQ_w}{d\theta} \right] - \gamma \frac{P}{V} \frac{dV}{d\theta} \quad (6.3)$$



Şekil 6.8 Püskürtme avansı 20 Kırma çalışma şartında silindir içi basınç değişimi (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)

Şekil 6.8’de Diesel ve LPG katkıli yakıtlar için 3000 d/d motor hızı şartında ÜÖN’den 20° Kma önce yapılan püskürtmenin 1400 bar püskürtme basıncı değerinde gözlenen silindir içi basınç değişimi verilmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi 20° Kma önce yapılan püskürtme şartında Diesel yakıt+%20 LPG ve Diesel yakıt+%25 LPG katkıli yakıt ile aynı pik basınç değerleri gözlenmiştir. LPG ilavesi arttıkça vuruntulu şekilde artma olmuştur.

Şekillerde D=Diesel yakıt , D-Gaz 1= Diesel yakıt+%10 LPG, D-Gaz 2= Diesel yakıt+%20 LPG, D-Gaz 3= Diesel yakıt+%25 LPG katkıli yakıt anlamında kullanılmaktadır.



Şekil 6.9 Püskürtme avansı 20 Kma çalışma şartında ısı açığa çıkışı (3000 d/d motor hızı, 1400 bar püskürtme basıncı)

Şekil 6.9' da verilen ısı açığa çıkış eğrisi incelendiğinde, LPG ilavesi ile ön yanma pik değeri nispeten yüksek gözlenmiştir. Diesel yakıtı ile yapılan deneyde yanmanın difüzyon fazının daha belirginleştiği görülmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaptığımız çalışmalar sonucu elde ettiğimiz verilere göre motorun maksimum güç şartında LPG ilavesi arttırıldıkça basıncın arttığı görülmüştür. Bu durum konuya ilişkin literatür bulgularıyla bağdaşmaktadır. L.Goldsworthy'nin yaptığı çalışma incelendiğinde propan oranı arttırıldıkça maksimum basıncında arttığı görülmektedir [39].

Diesel motorda ek yakıt olarak LPG uygulamasında, %25 LPG ilavesine kadar motor güç değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Bu durum Çarman ve diğerlerinin yaptığı çalışma ile desteklenmektedir; diesel motorlarında, diesel yakıtı ve ağırlıklı olarak %30 LPG ve %70 diesel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisini incelemiştirlerdir. Bu amaçla tek silindirli direkt püskürtmeli bir diesel motoru LPG ve diesel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmişlerdir. Çift yakıtla yapılan çalışmada motor torku ve gücünün tek yakıtlı çalışmaya göre %5.8 oranında arttığı gözlemlenmiştir [17].

Isı açığa çıkış eğrileri incelendiğinde, yapılan çalışmalara benzer şekilde diesel yakıtına LPG ilavesi yapılmasının ön karışım yanma (premixed) fazındaki ısı açığa çıkışını yükselttiği görülmüştür. Dieselde bu oran 90 J/Kma iken LPG katkılı diesel yakıt kullanımında bu oranın 110 J/Kma' ya yükseldiği gözlemlenmiştir. LPG' nin adyabatik alev sıcaklığı yüksek olduğu için ön faz ısı yayılım oranını arttırır. Bu durum yapılan literatür araştırmalarındaki benzer sonuçlar ile desteklenmektedir. Yakıttaki LPG ilavesi arttıkça daha düşük setan sayısına sahip olması tutuşma gecikme süresinin uzatmakta, yanmaya hazır yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu durum tutuşmayı takiben hızlı yanma gerçekleşmesine dolayısıyla ön karışım (premixed) yanma fazının daha yüksek ve keskin olmasını sağlamaktadır. Qi ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır [13].

LPG' nin kaynama noktasının düşük olması nedeniyle; düşük sıcaklıkta buharlaşıp, parlayabildiğinden karışimli yakıtların atomizasyonuna yardımcı olur. Bu da yanmayı geliştirerek, yanma fazının yanma süresini kısaltır [14]. Deney sırasında kullandığımız motor hava soğutmalı olduğu için içeriye giren karışımın sıcaklık artışı ΔT daha fazla olmaktadır. Diesel yakıtın ani püskürtülmesi ile başlayan yanma LPG' nin de ani tutuşmasına neden olmaktadır.

Emisyon sonuçları incelendiğinde, Saleh' in yaptığı çalışma ve literatürde yapılan diğer araştırma sonuçlarına paralel olarak diesel yakıtta LPG katkı miktarı arttıkça CO emisyonunda artış olduğu gözlenmiştir [40]. NO_x emisyon değerlerinin, kısmi yük durumunda incelendiğinde düştüğü görülmüştür. Deney sonuçları emisyon açısından incelendiğinde, L.Goldsworthy'nin yaptığı çalışma ve yapılan diğer literatür araştırmalarındaki benzer sonuçlar ile desteklenmektedir.

Özgül yakıt tüketim grafiği incelendiğinde; diesel yakıtta LPG katkısı yapıldıkça motor gücünün de artmasıyla içeriye püskürtülen yakıt miktarı da artmaktadır. Hava fazlalık katsayısının 1' e yaklaştığı dikkate alındığında NO_x değerindeki azalmanın karışımdaki zenginleşmeden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. LPG ve diesel yakıtının birlikte kullanıldığı durumda içeriye giren yakıt miktarının arttığı gözlenmiş, bununda CO₂ emisyonunda artışa yol açtığı tespit edilmiştir. Aynı sebeple, LPG miktarı arttıkça karışımın zenginleşmesiyle CO emisyon oranında da artış gözlenmiştir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi karışımın tam olarak homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir noktasında oksijen yetersiz olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Yanma odasında yakıt dağılımının üniform olmaması, yanma olayının da üniform bir şekilde yayılmasını engellemektedir. Dolayısıyla tepkimeye hiç girmeyen ve eksik yanan hidrokarbon ürünleri artmaktadır. Yanma odasında yakıtın her yerde üniform bir dağılıma sahip olmaması, yetersiz oksijen, düşük reaksiyon sıcaklığı gibi nedenlerden dolayı CO konsantrasyonu artmaktadır [19],[41].

NO_x emisyonu yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır. Diesel motorlarında yanma sonucu içerisinde azotoksitin de bulunduğu egzoz emisyonları oluşur. Genelde stokiyometrik orana yakın hava-yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşum hızı alevin geçmiş olduğu bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranına bağlıdır.

Stokiyometrik karışımlardaki NO oluşumu, maksimum iken karışım zenginleşip fakirleştikçe oluşan NO miktarı da azalır [19],[42].

KAYNAKLAR

- [1] Öğüt, H. ve Kuş, R., (1999). Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı , II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Müh. Yayını, 242, 149-162.
- [2] Aydın, K. ve Karadurmuş, Z., (1997). "Metil Alkol Benzin Karışımlarının Benzinli Motorlarda Performans ve Emisyona Etkisi", 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [3] Anonymous, (1997) , "Yıllık Raporu", Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Ankara.
- [4] Yiğit, A., (2008). Bir Dizel Motorda LPG Kullanılması ve Farklı Özellikteki Pilot Dizel Yakıtının Motor performans ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [5] MMO, (2000). Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı, 2. Baskı, Ankara.
- [6] Euronews, Yükselen Pazarlar LPG'yi Öne Çıkartıyor, <http://tr.euronews.net/2011/09/28/yukselen-pazarlar-lpg-yi-one-cikariyor>, 28 Eylül 2011.
- [7] Ciniviz, M., (2001). Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [8] Felt, A. E. ve Steele, W. A., (1970). " Combustion Control in Dual-Fuel Engines", SAE Paper, 70644.
- [9] Poonia, P.M., Ramesh, A. ve Gaur, R. R., (1998). "Effect of Intake Air Temperature and Pilot Fuel Quantity on the Combustion Characteristics of a LPG Diesel Dual Fuel Engine" , SAE Technical Paper , 982455.
- [10] Poonia, M.P., Ramesh, A. ve Gaur, R.R., (1999). " Experimental investigation of the factors affecting the performance of a LPG-diesel dual fuel engine", SAE paper, 991123, 57-65.
- [12] Lata, D. B. ve Misra, A., (2010). "Theoretical and experimental investigations on the performance of dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuels" , Int J Hydrogen Energy, 35: 11918-11931.

- [13] Qi D.H., Bian Y.ZH., Ma ZH.Y., Zhang CH.H. ve Liu SH.Q., (2007) . "Combustion and exhaust emission characteristics of a compression ignition engine using liquefied petroleum gas–Diesel blended fuel" , Energy Conversion and Management, 48: 500–509.
- [14] Cao J., Bian Y., Qi D., Cheng Q. ve Wu T.,(2004). "Comparative investigation of Diesel and mixed liquefied petroleum gas/Diesel injection engines", Proc IMechE Part D: J Automobile Eng, 218:557–65.
- [15] Abd Alla, G.H., Soliman, H. A., Badr, O.A., ve Abd Rabbo, M.F., (2000) . "Effect of pilot fuel quantity on the performance of a dual fuel engine", Energy Conversion and Management, 41: 559–72.
- [16] Abd Alla, G.H., Soliman, H.A., Badr, O.A. ve Abd Rabbo, MF.,(2002). "Effect of injection timing on the performance of a dual fuel engine", Energy Conversion and Management, 41: 269–277.
- [17] Çarman, K., Salman, S. ve Ciniviz, M., (2001). "Diesel Motorlarında Diesel Yakıtı ve LPG kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi" ,Selçuk-Teknik Online Dergisi/Issn, 1302-6178.
- [18] Ergenç, A.T., (2009). Biodizel yakıt ile çalışan motordaki püskürtmenin performans ve emisyon yönünden optimizasyonu , YTÜ, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Heywood, John B., (1988). " Internal Combustion Engine Fundamentals " , McGraw Hill, Newyork.
- [20] Ferguson, C.R. ve Kirkpatrick, A.T., (2001). " Internal Combustion Engines Applied Thermosciences ", John Wiley&Sons Inc., NewYork.
- [21] Keating, L.E., (1993). " Applied Combustion " , Marcel Dekker Inc., Newyork 440.
- [22] Yavaşlıoğ, İ., (1988) . "İçten Yanmalı Motorlar" Eğitim Yayınları A.Ş.
- [23] Reitz, D. R., (2005). "Computational Fluid Dynamics Modeling of Diesel Engine Combustion and Emissions ", Engine Research Center University of Wisconsin-Madison.
- [24] Bauer H., (1999). "Diesel-engine managment" Robert Bosch Gmbh, Stuttgart.
- [25] Guibet, J.C., (1999). "Fuels and Engines Volume 1" Institut Français Du Petrole Publications, France.
- [26] Yamık, H., (2002). Diesel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması , Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] Belgeler.com,Alternatif Yakıtlar, www.belgeler.com/blg/2sc6/alternatifyakitlar, 24 Mart 2012.
- [28] 2A Mühendislik A.Ş., 2A Mühendislik Eğitim Yayınları, LPGOTOGAZ, www.2a-engineering.com/tr/pdf/LPGOTOGAZ.pdf, 24 Mart 2012.

- [29] SAHAKK-İ Projesi, Motorlu Taşıtlar ve Adapazarın' da Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonların Envanterlenmesi, www.sahakk.sakarya.edu.tr/.../motorlu-tasitlar-ve-emisyonlari.pdf ,26 Mart 2012.
- [30] Salman, M.S. ve Batmaz, I., (1998)."Sıvılaştırılmış Petrol Gazı Kullanan Taşıtlarda Performans ve Emisyonlar" , G.Ü.Tek. Eğit. Fak. Politeknik Dergisi, 1:1-2, Ankara.
- [31] İcingür, Y., Salman, M.S. ve Batmaz, I.,(1998)."Taşıtlarda LPG Kullanımı" , S.Ü.Tek.Eğt.Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya.
- [32] Çetinkaya, S., (1998). "Taşıtlarda LPG Kullanımı" , S.Ü. Tek. Eğt. Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya.
- [33] Batmaz, I. ve İcingür, Y., (1998). "Motorlu Taşıtlarda LPG Kullanımı ve Birinci Kuşak LPG Sistemlerinin Performans ve Emisyonlarının Analizi" , Teknoloji Dergisi Zonguldak K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak. Dergisi, 1, Karabük.
- [34] Zhao, H. ve Ladommatos, N., (2001)."Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics" , SAE Book, Warrendale.
- [35] Brunt, F.J.M. ve Platts, C.K., (1999). "Calculation of Heat Release in Direct Injection Diesel Engines" , SAE Paper, 01-0187.
- [36] Egnell, R., (2001). "Comparison of Heat Release and NOx Formation in a DI Diesel Engine Running on DME and Diesel Fuel", Sae paper, 01-0651.
- [37] Çanakçı, M., (2006). "Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fuelled with oetroleum diesel fuels and biodiesel", Bioresource Technology, Elsevier.
- [38] Brunt, F.J.M., Rai, H. ve Emtage, A.L., (1996). "The Calculation of Heat Release Energy from Cylinder Pressure Data", SAE Paper, 981052.
- [39] Goldsworthy L., (2012)."Combustion behaviour of a heavy duty common rail marine Diesel engine fumigated with propane" , Australian Maritime College, University of Tasmania, Locked Bag 1395, Launceston, 7250 Tasmania, Australia.
- [40] Saleh H.E., (2008). "Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual fuel diesel engine", Fuel, 87(13-14):3031-3039.
- [41] Hazar, H., Öner, C., (2007). "CrN Kaplamanın Dizel Motor Üzerindeki Etkileri", Mühendis ve Makina, 48(574):22-26.
- [42] Haşımoğlu, C. ve İcingür, Y., (2001). "Dizel Motorlarında Azot oksit (NOx) Kontrol Yöntemleri", Selçuk-Teknik Online Dergisi / Issn, 1302- 6178.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Deniz Özde KOCA
Doğum Tarihi ve Yeri :17.01.1986 Bakırköy
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :denizozdekoca@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Enerji Programı	Yıldız Teknik Üniv.	Devam ediyor
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniv.	2010
Lise	Fen-Matematik	Yeşilköy 50. Yıl Lisesi	2003

YAYINLARI

Makale

1. Ergenç A.T., Koca D.Ö., Abacıoğlu M., (2012)."Combustion Characteristics of a High Pressure Fuel Injected Single Cylinder Compression-Ignition Engine, Fuelled with Diesel-Ester Blends Under Various Fuel Injection Advance Angles" , IJRER, Online ISSN,1309-0127.